

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В. М. Співак, А. А. Зорі

Основи електроніки

*Рекомендовано Вченою радою Державного вищого навчального
закладу "Донецький Національний технічний університет"
Міністерства освіти і науки України як навчальний посібник для
студентів вищих навчальних закладів*

Донецьк:
ДВНЗ ДонНТУ,
2015

УДК 621.314+ 621.039.84 *Рекомендовано Вченою радою Державного вищого навчального закладу "Донецький Національний технічний університет" Міністерства освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Автори:

В.М. Співак, к-т технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, доцент кафедри "Звукотехніки та реєстрації інформації", Київського політехнічного інституту,

А.А. Зорі, д-р технічних наук, професор, завідувач кафедри "Електронної техніки", Державного вищого навчального закладу "Донецький Національний технічний університет" Міністерства освіти і науки України

Рецензенти:

О.А. Борисенко, д-р технічних наук, професор, зав. кафедри "Промислової електроніки та автоматики" Сумського державного університету,

Ю.Е. Паєранд, к-т технічних наук, доцент, зав. кафедри "Електронні системи", Донбаського гірничо-металургійного інституту, член-кор. МАН екологічної безпеки.

Основи електроніки (вступ до фаху). Навчальний посібник / Співак В.М. Зорі А.А. - Донецьк: ДНЗ ДонНТУ, 2015. - 208с.

ISBN 978-966-377

Посібник складається із трьох частин - вступу до фахової справи та студентських років, основних компонентів електронних пристроїв, принципів та засобів побудови промислових електронних систем керування.

У першій частині розглянено основні аспекти інженерної діяльності, вимоги до фахівця, особливості навчання в вузі та різноманітні форми роботи студента. У другій частині приведені основні поняття електронної техніки та систем автоматичного управління, основні компоненти електронних пристроїв. У третій частині наведені основні принципи побудови електронних автоматичних систем керування, промислові комплекси технічних засобів, приклади сучасних електронних систем та мереж. В додатку приведені відомості про основні поняття та терміни, приклади основних електронних компонентів.

Призначений для студентів фаху "Електронні системи" та, частково, — "Фізична та біомедична електроніка", і напряму підготовки — "Прилади". Може бути корисний студентам інших спеціальностей, які цікавляться електронікою, та фахівцям електронної техніки.

Ілюстрацій 6. Таблиць 39. Бібліографій 22.

© Державний вищий навчальний заклад "Донецький Національний технічний університет"

© В.М. Співак, А.А.Зорі, 2015

ISBN 978-966-377

Зміст

Передмова авторів	5
Вступ	6
Розділ 1. Вступ до фахової діяльності	
1.1. Історичний розвиток інженерної справи	8
1.2. Різновиди інженерної діяльності	14
1.3. Інженерна діяльність та природа	18
Розділ 2. Ступенева вища освіта — бакалавр, фахівець, магістр	
2.1. Інженер — фахівець, людина, громадянин	23
2.2. Інженер — фахівець широкого профілю	24
2.3. Інженер — творчий працівник	31
2.4. Інженер — організатор виробництва	32
Розділ 3. Технічний університет	
3.1. Вища технічна освіта	34
3.2. Організація навчального процесу	38
3.3. Аудиторні заняття студентів	42
3.4. Самостійна робота студентів	44
3.5. Форми контролю знань студентів	47
3.6. Побут та відпочинок студентів	50
Розділ 4. Студент	
4.1. Студент на лекції	52
4.2. Студент на практичних заняттях	55
4.3. Студент в лабораторії	57
4.4. Самостійна робота студента	59
Розділ 5. Основні терміни та поняття електронних систем	
5.1. Фундаментальні поняття електроніки	61
5.2. Основні терміни електронних систем управління	64
Розділ 6. Пасивні компоненти електронних систем	
6.1. Резистори	73
6.2. Конденсатори	80
6.3. Котушки індуктивності	83
6.4. Трансформатори	86
Розділ 7. Аналіз простих ланцюгів електронних систем	
7.1. Атенюатори	88
7.2. Поняття децибел	90

7.3. RC–ланцюги	92
7.4. RL–ланцюги	95
7.5. LC та LCR–ланцюги, явище резонансу	97
7.6. Фільтри електричних сигналів	100
Розділ 8. Діоди	
8.1. Характеристики діодів	105
8.2. Стабілітрони	108
8.3. Тиристори	111
8.4. Світлопроменеві діоди	113
Розділ 9. Транзистори	
9.1. Типи транзисторів	116
9.2. Біполярні транзистори	117
9.3. Польові транзистори	123
Розділ 10. Інтегральні мікросхеми	
10.1. Типи інтегральних схем	130
10.2. Цифрові інтегральні мікросхеми	131
10.3. Аналогові інтегральні мікросхеми	137
10.4. Тенденції розвитку електронних компонентів	138
Розділ 11. Технічні засоби електронних систем керування	
11.1. Апаратні технічні засоби систем автоматики	141
11.2. Комплекси технічних засобів локальних інформаційних та управляючих систем	143
11.3. Регулюючі мікропроцесорні контролери	144
11.4. Застосування індустріальних комп'ютерів	150
Розділ 12. Електронні системи в промисловості	
12.1. Об'єкти автоматичного керування	154
12.2. Принципи побудови систем автоматичного керування	155
12.3. Штучний інтелект в системах управління	157
12.4. Робототехнічні системи виробництва	159
12.5. Комп'ютерні мережі сучасних виробництв	171
Список літератури	175
Додаток 1. Основні терміни і поняття	177
Додаток 2. Приклади електронних компонентів	198

Передмова авторів

Вітаємо читачів пропонованої книги, перед усього студентів першого курсу, які обрали професійний напрямок **“ЕЛЕКТРОНІКА”**, навчаються за фахами **“ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ”** та **“ ФІЗИЧНА ТА БІОМЕДИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА”**, намагаються набути кваліфікаційних рівней: **бакалавра, інженера або магістра ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**.

В підручнику в доступній формі викладені питання організації вищої освіти в Україні, аналізу компонентів електронних систем, основних принципів їх побудови та прикладів застосування в різних сферах народного господарства. Книга вимагає від читача мінімальної попередньої підготовки, тому корисна не тільки для студентів молодших курсів вищих навчальних закладів, але і для школярів, які намагаються зробити свій серйозний вибір у житті.

Книга включає три основні блоки. Перший, який складається з чотирьох розділів, присвячений питанням сучасної багатоступеневої вищої освіти, вимогам суспільства до бакалаврів, фахівців та магістрів, короткій історичній справці про розвиток вищої освіти в нашій державі та країнах СНД, структурі вищого навчального закладу, правам та обов’язкам студентів. Другий блок присвячений аналізу компонентів електронних систем, включає фундаментальні поняття електроніки та основні терміни електронних систем управління, пасивні компоненти, аналіз простих ланцюгів та фільтрів, діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми, тенденції їх розвитку. Третій блок включає аналіз сучасних технічних засобів систем автоматичного керування, принципи побудови систем управління з елементами штучного інтелекту, локальні комп’ютерні мережі виробництв, роботизацію. В додатку приведені відомості про основні поняття та терміни, приклади основних електронних компонентів.

Текст посібника конкретний і короткий, включає деякі, відомі з наведеної літератури, приклади та задачі, що дають можливість студентові “прощупати” проблему до появи власного досвіду. Використано відому літературу із споріднених фахів, власний досвід викладання на протязі останніх 10 років курсу “Вступ до фаху”, матеріали останніх міжнародних науково-технічних конференцій та виставок, в яких автори приймали безпосередню участь.

Вступ

Фах “Електронні системи” виник в грудні 1943 року за рішенням Народного комісаріату з вищої освіти бувшого СРСР як “Іонні прилади та перетворювачі струму”. Першу кафедру, організовану в Московському енергетичному інституті, очолював професор Каганов І.Л. Відкриття нового фаху було закономірним, так як в передвоєнні роки широкого поширення в бувшому СРСР набули потужні випрямлячі на основі ртутних вентилів на тягових підстанціях для живлення контактної мережі міського транспорту (трамвай, тролейбус, метрополітен), при електрифікації залізних доріг, на підстанціях для живлення постійним струмом ванн електролізу міді, алюмінія та інших кольорових металів, в системах керування потужними металургійними агрегатами. В 1949 році фах отримав нову назву “Промислова електроніка”, яка проіснувала в Україні до 1997 року.

У середині 50-х років в усьому світі в електроніці зчинилась технічна революція, обумовлена виникненням напівпровідникових тріодів-транзисторів. В кінці 50-х років з’явилися і почали інтенсивно удосконалюватись потужні германієві та кремнієві діоди та трьох-електродні (керовані) вентилі-тиристри. Наступні зміни елементної бази електроніки стосувались інтегральних мікросхем (спочатку аналогових, а потім цифрових). Далі великі (ВІС) та зверхвеликі (ЗВІС) інтегральні схеми та мікропроцесори — в інформаційній електроніці, тиристри та потужні транзистори, “розумні” силові прилади — в енергетичній електроніці.

У 50-60 роках були створені кафедри “Промислової електроніки” в Києві, Харкові, Одесі, Новосибірську, Владикавказі, Чебоксарах, Томську, Ташкенті, Тбілісі, Баку та інших містах бувшого СРСР. Такий процес продовжувався і в 70-80 роки, коли до 1991 року було створено 35 кафедр. Зараз їх в Україні налічується 11, а в Росії 20.

У 1997 році в Україні пройшло упорядкування фахів і професійний напрям “Електроніка” нині включає такі фахи: “Компоненти електронної техніки”, “Електронні прилади та пристрої”, “Електронні системи” і “Фізична та біомедична електроніка”. Головним вузом являється Національний технічний університет (Київський політехнічний інститут).

Значний вклад в розвиток фаху внесли такі вчені як І.Л. Каганов, В.С. Руденко, В.А. Лабунцов, О.Г. Булатов, А.К. Шидловський, В.П. Шипілло, А.І. Денисов та багато інших.

Курс “Вступ до фаху — Основи електронних систем” являється відносно новим. Його зміст ще не зовсім устоявся, у ВУЗах викладається

по різному, а в деяких зовсім зник. Існує точка зору, що його викладення не таке просте, як це здається на перший погляд. Для майбутніх фахівців це не тільки викладення маловідомих відомостей про обраний фах, але і контакт з першого курсу з випусковою кафедрою, залучення до творчої роботи.

Незважаючи на поширену навчальну літературу по загальному курсу промислової електроніки: Каганова І.Л. (1961 та 1968 р.р.) Забродіна Ю.С. (1982 р.), Горбачова Г.Н., Чаплигіна Е.Е. (1988 р.) на сьогодні немає підручника по “залізу” сучасних електронних систем керування.

При постановці курсу “Вступ до фаху — Основи електронних систем” автори намагались використати існуючу літературу, свій особистий досвід, поради колег — завідувачів кафедр “Промислової електроніки” України, з якими автори мають велику честь щорічно зустрічатись на науково-технічних конференціях та методичних семінарах. Особливу вдячність автори висловлюють бувшому завідувачу кафедри Національного технічного університету (Київський політехнічний інститут), д.т.н., професору Руденку В.С. Окремо треба додати, що при підтримці бувшого завідувача кафедри “Промислової електроніки” Московського енергетичного інституту Лабунцова В.О. в 1989 році в Дніпродзержинському державному технічному університеті була відкрита підготовка з нового для Придніпровського регіону фаху, а пізніше і в Донецькому національному технічному університеті. Це викликало великий інтерес молоді. Наші випускники працюють в державних та приватних підприємствах, науково-дослідних інститутах, банках, продовжують навчання в країнах далекого зарубіжжя, в тому числі — Сполучених Штатах Америки.

Автори висловлюють щирі вдячність: своїм учням — інженерам фаху “Електронні системи” М. Аушеву, Н. Бойко, О. Дубровському, Ю. Дехтяр, А. Ликасову, В. Скороход за технічну допомогу при підготовці оригінал-макету; співробітникам кафедр “Електроніки та автоматики” Дніпродзержинського державного технічного університету, та “Електронні системи” Донецького національного технічного університету, співробітникам науково-дослідного інституту “Технології та автоматизації профільної прокатки” за постійну підтримку і увагу при написанні та виданні навчального посібника.

Розділ 1. Вступ до фахової діяльності

1.1. Історичний розвиток інженерної справи

Суть інженерної справи полягає у технічній творчості, мета якої — створення та удосконалення засобів для задоволення матеріальних і духовних потреб людини. Електронні системи охоплюють всі сфери матеріального виробництва. Харчові вироби та радіоприймачі, одяг та телебачення, житлові будівлі та вузли зв'язку, літаки та радіонавігаційні пристрої, теплоелектроцентралі та телецентри, мости та телефонні мережі — все це об'єкти інженерної діяльності. Та, звичайно, їх створенню передують наявність елементної бази, тих цеглин (компонентів) з яких будується будинок (електронна система), що неможливо без виготовлення знарядь праці — інструментів та приладів, верстатів та двигунів — тих різноманітних машин та виробничих пристроїв, з яких починаються інженерні володіння.

Інженерна справа виникла разом з народженням самої людності. Термін інженер походить від латинського слова *ingenium*, котре можна перекласти як "винахідливість". Вірогідно, що першими інженерами можна назвати тих невідомих винахідників, котрі стали приладнувати каміння та палки для полювання та захисту від хижаків, а перша інженерна задача полягала у обробці цих знарядь. Та без сумніву геніальним винахідником слід визначити того первісного інженера, котрий приладив камінь до палки, щоб ефективніше захищатись та результативніше нападати.

Але невідомі винахідники перших знарядь не знали латині та не називали себе інженерами. Коли ж з'явилась латинь, людина вже навчилася нападати не тільки на тварин, але і на собі подібних. Виникло мистецтво ведення воєн та створення технічних засобів нападу. Коли людство почало писати свою історію, як приклад інженерної діяльності приводили створення Архімедом військових машин для захисту Сіракуз від римських легіонів.

Але не війнами єдиними з глибокої давнини жила людина. Таке творіння інженерної думки, як водяний млин, було відоме ще до нашої ери. Той же Архімед прославився не тільки своїми військовими машинами, але й гвинтовими водопідйомниками для зрошення полів. У стародавньому світі будувалися не тільки фортеці, але й мирні інженерні споруди, наприклад Олександрійський маяк. Той самий маяк, на якому честолюбний властитель наказав викарбувати напис: "Цар Птоломей — богам-рятівникам на благо морехідцям". Але творець маяка знав секрети лицювальних матеріалів. У визначений їм строк непотрібна частина

облицьовки осипалась та оголилася мармурова плита. На ній люди прочитали інший напис, який прославив ім'я істиного творця: "Состратус з міста Кніда, син Дексіпліана — богам-рятівникам на благо морехідцям".

Перелік досягнень інженерної думки можливо було б багаторазово продовжити від стародавніх ручних знарядь праці до мікропроцесорних електронних систем з елементами штучного інтелекту в різних сферах сучасного виробництва, від перших маяків до сьогоднішніх телевізійних башень, від давніх шляхів та мостів до сучасних космічних кораблів. В цьому переліку почесне місце займають і різноманітні електронні системи: від примітивних приладів до сучасних складних систем керування.

Характерна особливість розвитку техніки лежить у її безперервному удосконаленні і ускладненні. Цей процес закономірний. Разом з розвитком суспільства, з ростом його матеріальних та духовних запитів розвиваються й ускладнюються технічні засоби для їх задоволення.

Сучасні технічні засоби настільки складні, що для їх виробництва потрібна кооперація багатьох людей різних фахів і різної кваліфікації. В сучасній електронній системі закладена праця електроніків і механіків, акустиків і хіміків, електриків та металургів, та багатьох інших фахівців. Виробництво сучасної електронної системи керування базується на праці робітників, техніків, бакалаврів, фахівців, магістрів...

Спочатку диференціація праці робилася по видам виробів. Така диференціація почалася з виникненням землеробства і скотарства, які вимагали своїх знарядь праці. Виникають і розвиваються різноманітні ремесла — ткацьке і гончарне, млинне і ковальське. Їх кількість неухильно зростає. Розпочавшись ще в стародавньому світі, за багато тисячоліть до нашої ери, спеціалізація по видам ремесел все більш поширюється.

До тих пір, поки технічні вироби були нескладними, їх виробництво спочатку і до кінця знаходилося в одних руках: від видобутку сировини до збуту готових виробів — ремісник усе робив сам. Наприклад, гончар сам майстрував гончарне коло й роздобував глину, замішував її, та формував глек, обпікав, продавав його. В цих умовах оволодіння ремеслом означало приєднання до нескладних знань рецептурного характеру й придбання досить простих трудових навиків. Такі знання і навики могли придбатися сином у батька або передаватися ремісником своєму учню.

В міру ускладнення технічних виробів в рамках ремісничого виробництва намічається розподіл праці не тільки по видам виробів, але

й по рівню кваліфікації фахівця. З виникненням міст, які стали одночасно торговими центрами, осередками цехового та ремісничого виробництва, диференціація праці не тільки поширюється, але й поглиблюється. Постачальниками сировини та скупниками готових виробів стають купці, а придбання сировини, розподілення її між ремісниками й збут готової продукції беруть у свої руки цехи, які поєднали ремісників, виробляючих однакові технічні вироби. Ремісник повністю присвячує себе виробництву.

Відбувається розподілення праці по рівню її складності. Прості операції дістаються учням, більш складна робота — підмайстер'ям, а найбільш кваліфікована праця виконується ремісниками-майстрами. Але навіть майстер, володіючий на той час найвищою кваліфікацією, усіма секретами виробництва, поєднував функції робітника, техника та інженера.

Але настав час, коли найкваліфікований майстер-ремісник не зміг вже упоратися із усіма робочими операціями. Тому що з ускладненням технічних виробів ускладнювався й процес їх виробництва, помножалася кількість робочих операцій, ці операції ставали все більш різноманітними. У найпростішому гончарному виробництві любий виріб міг виробляти з початку до кінця один майстер. Але при виробництві дзеркал треба вміти й скло зробити й амальгамою його покрити.

Виникли об'єктивні передумови для переходу на поопераційну спеціалізацію, які втілились в життя в мануфактурах по виробництву шовку, сукна, дзеркал та інших складних виробів. Мануфактури зосередили виготовлення технічних виробів серед ремісників декількох спеціальностей. Тепер вже готові вироби виробляло одне з ремісничих виробництв, на долю інших приходилось виробництво тих чи інших напівфабрикатів.

Така спеціалізація мануфактур створювала умови для удосконалення і ускладнення процесів виробництва, для створення спеціалізованих знарядь праці. З іншого боку, подальше розширення та поглиблення спеціалізації праці в мануфактурний період сприяло зростанню технічної творчості і зумовило зростання механізації і машинізації мануфактурного виробництва, зниження частки ручної праці.

В XV-XVI століттях поряд з водяними колесами приводу машин виробничих процесів почали застосовуватись повітряні двигуни. Вдосконалюються і створюються нові машини і механізми. Відомі, наприклад, сотні винаходів геніального Леонардо да Вінчі. Серед цих винаходів можна вказати на ремінні та ланцюгові передачі, "карданне" з'єднання для валів (пізніше знову відкрите Дж. Кардано) і колесні

опори для вісей (прототип шарикових і роликових підшипників), механічний ткацький верстат і прядильну машину для вовни. Технічна творчість Леонардо да Вінчі — зразок інженерної діяльності для сучасних поколінь інженерів.

Ускладнення технічних виробів і удосконалення виробництва, поглиблення спеціалізації праці і зростання технічної творчості, розподіл праці на фізичну і розумову створили передумови для нової професії — професії інженера.

Професія цивільного інженера з'явилась вперше в Голандії [1] (XVI століття). Спочатку цивільними інженерами називали фахівців з будівництва мостів і шляхів сполучення, а потім архітекторів — фахівців з будівництва. За цивільними — з'явилися гірничі інженери — фахівці з розробки корисних копалин. В XVII ст. були створені спеціальні технічні школи, які готували інженерів. Інженерами почали називати осіб, які одержували спеціальну технічну освіту. При цьому інженер повинен був займатись не тільки удосконаленням і створенням нових технічних виробів. Бо для їх виготовлення необхідно створити відповідні засоби: лиття або кування, пресування або токарну обробку і т. ін. Всі ці процеси повинні виконуватись на виробництві узгоджено, що можливо тільки при належній організації праці. Тому на інженера були покладені і функції організатора праці. Процеси виробництва також були об'єктом інженерної діяльності, та складовими частинами інженерної справи. Роль інженера як організатора виробництва неухильно зростала. В XVII ст. бурхливий розвиток продуктивних сил призвів до витіснення мануфактур машинно-фабричним виробництвом.

Фабричне виробництво ознаменувало різкий зріст механізації. При цьому особливу роль зіграло з'явлення парових двигунів та різних спеціалізованих верстатів. Це, з одного боку, дозволило збільшити обсяги виробництва, з іншого — перебудувати весь виробничий процес, поділити його на чисельні окремі елементарні операції, доступні робітникам низької кваліфікації. Таким чином, капіталістичне виробництво знаменувало надзвичайну диференціацію праці. Масовість виробництва, ускладнення і крайня диференціація виробничих процесів привели до суттєвого збільшення ролі інженера як організатора виробництва, відповідального не тільки за роботу машин і механізмів, але й за виробничу діяльність робітників.

Подальше укрупнення та ускладнення виробництва привело до необхідності посилення технічного керівництва виробництвом, виникла необхідність звільнення інженера від частки його праці, яка могла бути покладена на технічних фахівців більш низької кваліфікації. З іншого боку, у XVIII ст. та особливо у XIX ст. стали формуватися самостійні

технічні науки (будівельна механіка, гідравліка та ін.), які значно впливали на розвиток виробництва. Це підвищило вимоги до фахової підготовки інженерів і підняло роль технічної творчості. Тоді на допомогу інженерам прийшли техніки, спеціалісти з середньою освітою. З того часу інженерами називають осіб, які одержали вищу технічну освіту.

Перехід до соціалістичного способу виробництва, змінивши характер виробничих відносин, по новому висвітлив роль інженера, як організатора виробництва [1]. Як технічний керівник колективу, інженер соціалістичного виробництва повинен був забезпечувати не тільки ефективне використання персоналу виробництва. Важливою його задачею була така організація виробничого процесу, яка допомагала перетворити виробничу працю в творчу, і взагалі, забезпечувала б максимально сприятливі умови праці.

З розвитком виробництва зростає і кількість інженерних спеціальностей, охоплюючих різні сфери технічної діяльності суспільства. Якщо спочатку були тільки три інженерні фахи (військовий, цивільний і гірничий інженери), то на початку нашого століття, наприклад, в Росії нараховувалось більше десяти інженерних спеціальностей. Зараз же в країнах союзу незалежних держав здійснюється підготовка інженерів за більш ніж 230 фахами [1]. Розширюються і самі інженерні фахи. В сферу діяльності інженерів одного фаху входить все більше різних об'єктів. Наприклад, спочатку в радіотехніку входили тільки радіотелеграфні системи. Потім до радіотелеграфії додалась радіотелефонія і вони об'єднались під загальною назвою радіозв'язку. Зараз радіотехніка об'єднує в собі радіозв'язок, телебачення, радіонавігацію, радіолокацію і радіотелевимірювання. І кожній з цих галузей радіотехніки належать свої технічні об'єкти.

В наш час технічні об'єкти настільки складні, а їх кількість в межах одного фаху настільки велика, що інженеру іноді важко охопити їх всі. Тому деякі інженерні фахи поділяються ще й на спеціалізації. Наприклад, до складу радіообладнання сучасного літака входить декілька радіостанцій зв'язку, численне радіолокаційне обладнання різного цільового напрямку, комплекс радіонавігаційних приладів, радіотехнічні системи посадки літака при відсутності бачення Землі та ін. Відповідні комплекси радіообладнання мають і аеропорти. При цьому льотне обладнання і аеродромні системи відрізняються. Для радіозв'язку літака з аеропортом та між аеропортами потрібні зовсім різні радіостанції. Тому авіаційні інженери-радиристи спеціалізуються на

обслуговуванні бортового радіобладнання або на обслуговуванні наземного радіобладнання.

Фах “Електронні системи” включає такі спеціалізації: електронні системи контролю, регулювання та управління; комп’ютерні електронні системи; електронні системи відображення інформації; перетворювальні електронні системи, біомедичні електронні системи та інші.

Розвиток інженерної справи характеризується не тільки кількісним ростом. Науково-технічний прогрес приводить і до ускладнення інженерної діяльності. Об’єктами інженерної діяльності давно вже зробилися не тільки технічні вироби, а і виробничі процеси. Для сучасних технічних об’єктів характерна не стільки складність їх конструкції, скільки складність відбуваючих в них процесів. В двигуні внутрішнього згоряння хімічна енергія палива перетворюється в теплову енергію, а тепла — в механічну. На гідроелектростанціях енергія падаючої води перетворюється на електричну енергію. В телефоні мовні (акустичні) сигнали перетворюються на електричні і навпаки. На автоматичній телефонній станції (АТС) відбувається автоматичний пошук потрібного абонента і з’єднання з ним. Телевізор приймає радіосигнали, під впливом яких в ньому протікають струми і формується зображення. В ПК виконуються обчислення і здійснюються логічні операції і т.ін. Згадані акустичні і електричні сигнали в свою чергу теж є процеси. І вони також є об’єктами інженерної думки.

Разом з ускладненням інженерних виробів і відбуваючих в них процесах ускладнюються і технічні науки. Все це підвищує вимоги до рівня підготовки інженера. Широкі і глибокі знання є першою умовою успішної інженерної діяльності в нашу епоху. Архімед втілював в собі і видатного інженера, і великого вченого стародавнього часу. Його знань було достатньо, щоб одному створити металеві машини, які вражали уявлення багатьох поколінь. В наш час стало необхідним об’єднання зусиль талановитих вчених і визначних інженерів на чолі з видатним інженером нашої епохи академіком С.П.Корольовим, який народився в Україні (в місті Житомирі), щоб вирішити сучасну задачу запуску у космос першого штучного супутника Землі.

Леонардо да Вінчі займався різноманітними видами технічної творчості. Він створив не тільки багато різних механізмів, але й ряд гідравлічних пристроїв. Добре відомий і його проект літального апарату. Але для проектування сучасного літака потрібне об’єднання творчих зусиль інженерів десятків різних фахів. Це проектування здійснюється великими колективами, які складаються з тисяч фахівців, такими, наприклад, як конструкторське бюро, створене всесвітньо відомим авіаконструктором академіком О.К.Антоновим в місті Києві.

О.С.Попов був по освіті фізиком, викладав електротехніку, займався інженерною діяльністю, створюючи різні прилади. Його знань виявилось достатньо для винаходу радіо. Але зараз лише для забезпечення нормального функціонування радіосистем одного космічного корабля потребується багато радіоінженерів. Знань одного не вистачає.

Сучасному інженеру для його інженерної діяльності не вистачило б усіх знань Архімеда, Леонардо да Вінчі та О.С.Попова, навіть разом узятих. Це не означає, звичайно, що кожний сучасний інженер з його широкими та глибокими знаннями може порівнюватися в технічній творчості, наприклад, з Леонардо да Вінчі. Для технічної творчості тільки знань недостатньо, потрібні ще талант та покликання.

1.2. Різновиди інженерної діяльності

Практична діяльність інженерів навіть одного і того ж фаху має різний характер та залежить від виконуваних ними обов'язків. У кожній галузі інженерної діяльності фахівець повинен володіти специфічними знаннями та практичними навичками. Задача інженера — створення нових технічних засобів або об'єктів, як про це йшла мова вище. Але перед тим як розпочати безпосередньо виробничий процес створення електронних систем, треба їх перш за все вміти конструювати. До завдання конструювання входить вибір принципу дії технічного об'єкту та окремих його вузлів, розробка схеми конструкції та взаємодії і її частин, вибір відповідних матеріалів та компонентів, розрахунок найвигідніших режимів роботи, параметрів вузлів та всієї конструкції, розробка компоновки та зовнішнього оформлення виробу, друкованої плати, складання його технічного проекту.

Конструювання є самостійним інженерним завданням і відноситься до одного з різновидів інженерної діяльності, яка потребує специфічних знань та практичних навичок. Тому для вирішення такого інженерного завдання потрібні інженери з відповідним профілем підготовки. Їх називають інженерами-конструкторами.

Зконструйований об'єкт потрібно виготовити. Якщо інженер-конструктор відповів на питання, що треба робити, то хтось повинен відповісти на питання, як це робити. Але виготовити ту ж саму систему можливо різними способами, за допомогою різних технологічних прийомів чи операцій. Вибір технологічних операцій суттєво впливає на ефективність виробництва. Одна технологія дозволяє одержати дешевий продукт, інша — забезпечує високу якість продукції, що виробляється. Одна технологія прискорює виробництво виробу, інша підвищує його

безвідмовність у роботі, або експлуатаційну надійність. Яку ж технологію обрати? А може є технологія, яка поєднує в собі всі вказані переваги та характеризується багатьма іншими позитивними якостями? І якщо немає такої технології, то чи можливо її розробити? Якщо ж не можна, то яка технологія буде найкращою?

Але якщо обрана найкраща технологія, то хто може на виробництві забезпечити її недоторкане додержання? Тоді як порушення визначеного технологічного режиму неминуче значить випуск бракованої продукції. Забезпечити вирішення всіх цих технологічних питань виробництва можуть тільки відповідно підготовлені фахівці. Ними є інженери-технологи.

При надзвичайній складності сучасних технічних засобів, особливо електронних систем, інженерна справа не може бути обмежена лише їх виготовленням. Необхідно ще забезпечити нормальне функціонування готових виробів. Для цього треба грамотно оцінювати технічний стан об'єктів, проводити комплекс регламентних робіт, тобто профілактичних заходів, спрямованих на збереження необхідних технічних характеристик виробу, прогнозувати можливі відмови у його роботі та запобігати їм. У випадку відмови в роботі виробів треба вміти виявити дефект та грамотно організувати ремонт. Вирішення цих технічних питань також є інженерним завданням, яке складає зміст технічного обслуговування, або технічної експлуатації виробів.

Технічне обслуговування є третім різновидом інженерної діяльності, яка також потребує від інженера специфічної підготовки. Спеціалісти з таким профілем підготовки називаються інженерами-експлуатаційниками.

Науково-технічний прогрес пов'язаний з розвитком виробництва. Виробництво не стоїть на місці. Його розвиток означає не тільки кількісний ріст продукції але й неухильне покращення якості. Вдосконалення та випуск нових видів продукції на рівні світових стандартів є однією з найважливіших завдань сучасного виробництва. Вирішення цих задач і, отже, успіхів у розвитку інженерної справи можливі тільки на основі найновіших наукових досягнень.

Оскільки успіхи у розвитку інженерної справи визначаються науковими досягненнями, то і інженерна діяльність не може здійснюватися без відриву від наукових дослідів, без проведення науково-дослідницької роботи (НДР). Метою НДР є всебічне теоретичне та експериментальне дослідження технологічних процесів та процесів, протікаючих у системах, пристроях та в окремих його компонентах, вивчення на цій основі властивостей технічного об'єкту та пошук шляхів покращення цих властивостей аж до виявлення принципово

нових способів вирішення поставленої задачі. Кінцевою метою наукових досліджень у інженерній справі та в технічних науках є розробка методів розрахунку та оптимізації параметрів виробу, контролю його характеристик, підвищення його економності та надійності та інших рекомендацій, необхідних в інженерній практиці на стадіях конструювання, виробництва і технічної експлуатації об'єкту.

Таким чином, науково-дослідницька робота є складовою частиною інженерної діяльності. Зараз наукові дослідження проводять інженери усіх профілів — і конструктори, і технологи, і експлуатаційники. Але з врахуванням специфіки НДР у деяких вузах готують інженерів, які б могли спеціалізуватись на проведенні наукових досліджень, спрямованих на удосконалення та створення нових технічних засобів та технологій. Таких спеціалістів можна називати інженерами-дослідниками.

Отже, для кожного фаху відповідно різновидам інженерної діяльності слід відрізняти фахівців чотирьох профілів: інженерів-дослідників, інженерів-конструкторів, інженерів-технологів та інженерів-експлуатаційників. Усі чотири різновиди інженерної діяльності взаємно доповнюють один одного, вишикувані, при цьому, не в ряд, а по колу.

Створення нового технічного об'єкту, необхідність котрого продиктована потребами суспільства, починається з наукових досліджень, визначаючих напрямки та оптимальні шляхи у досягненні поставленої мети. За цим здійснюється конструювання об'єктів та розроблюється відповідний технологічний цикл. Після цього об'єкт запускається у виробництво, де втілюються задумки дослідників, конструкторів та технологів, проводяться додаткові наукові дослідження, по результатам котрих здійснюється доробка електронної системи керування та доводка технології.

Готовий об'єкт потрапляє до споживача, тобто переходить у руки інженера-експлуатаційника. Керуючись потребами суспільства, спираючись на свої знання та досвід, враховуючи найновіші наукові досягнення та результати своїх наукових досягнень, розвиток конструкторської думки і технологічні можливості виробництва, інженер-експлуатаційник може та повинен дати критичну оцінку виробу, внести пропозицію по його удосконаленню, поставити задачу створення нового виробу замість того, що вже є та розробити технічні вимоги до цього нового інженерного об'єкту. Коло замикається.

Саме тим інженер-експлуатаційник спрямовує у визначене русло подальшу діяльність інженерів-дослідників, конструкторів та технологів. Така діяльність інженера-експлуатаційника дає поштовх

розвитку науки та техніки, стимулює науково-технічний та суспільний прогрес. При цьому інженера-експлуатаційника можна називати творцем технічної політики виробництва.

Розглянені чотири різновиди інженерної діяльності не тільки додають, але й взаємопроникають один в одного. Вище вже було сказано, що будь-яка інженерна діяльність включає до себе НДР. З іншого боку, діяльність інженера-дослідника неможлива без уявлення про конструктивні особливості, технологічні можливості та експлуатаційні вимоги до того чи іншого виробу. Аналогічно, інженер-конструктор не зможе вирішити ці задачі без урахування технічних вимог. Інженер-експлуатаційник опиниться безпорадним, якщо не подивиться на свій об'єкт очима конструктора і не буде знати конструктивних можливостей, схованих в електронній системі. А інженер-технолог не побачить, що спричинило збій технологічного циклу, не володіючи навичками експлуатаційника.

Нарешті, багато технічних задач проходять червоною стрічкою крізь усі етапи інженерної діяльності і можуть бути успішно вирішені лише сукупними зусиллями спеціалістів усіх чотирьох профілів. Прикладом такої спільної задачі є задача забезпечення максимального технічного та економічного ефектів при втіленні нового технічного об'єкту. Технічний та економічний ефекти залежать ще від рекомендацій, виданих інженерами-дослідниками; від економічності розробленої конструкції та обраної технології; від вартості технічного обладнання.

Іншим прикладом можуть бути задачі охорони праці, котрі є першими на будь-якому сучасному виробництві. В умовах дикого капіталізму підприємець у погоні за прибутком не зупиняється перед скороченням витрат на виробництво, до яких би негативних наслідків воно не приводило. На державних підприємствах передбачена посада інженера по охороні праці та техніки безпеки, котрі дбають про додержання усіх виробничих заходів та нормативів, необхідних для полегшення умов праці та збереження здоров'я працівників. Але розробка цих заходів та нормативів, ефективне їх втілення в виробництво — це обов'язок та борг інженерів усіх профілів.

Перш за все, на стадії наукових досліджень, виконуваних як інженерами-дослідниками, так і інженерами інших профілів (часто у співробітництві з медиками та біологами), виявляються фактори, негативні для здоров'я людей, і розроблюються шляхи усунення цих факторів. При таких дослідженнях, зокрема, встановлено шкідливий вплив шуму на організм людини. Тому на підприємствах і при будівлі міст передбачаються заходи по обмеженню рівня шуму. І інженери всіх

профілей повинні в своїй роботі дбати про зниження шумових впливів на людину.

Дослідженнями також було встановлено, що ті самі радіохвилі, які так успішно служать людині, бувають для неї часом шкідливі, і це майбутній інженер електронної техніки повинен знати. Радіохвилі великої потужності впливають негативно на людину тим більше, чим менше довжина хвилі. Встановлені спеціальні санітарні норми. І додержання цих норм — це не тільки турбота інженерів по техніці безпеки, але і завдання інженера-конструктора. Саме він при проектуванні радіопередавальної станції повинен передбачити і сконструювати зовнішнє екранування виробничих приміщень цієї станції. Таке екранування за допомогою металевої заземленої сітки призначене для зменшення інтенсивності електромагнітного поля в приміщенні до допустимих санітарних норм. При цьому інженер-експлуатаційник повинен дбати про збереження екранування та його заземлення.

Якщо на стадії наукових досліджень знайдено оптимальний технологічний процес для того чи іншого виробництва, котрий всім гарний, але включає до себе операції, шкідливі для здоров'я людини, то повинна бути вирішена задача автоматизації цього виробництва, яка вилучає участь людини у вказаних операціях. І ця задача вирішується не тільки інженерами-технологами, але й інженерами-дослідниками, і конструкторами разом з експлуатаційниками.

Техніка не завжди прихильна до людини. Але при вирішенні будь-якої технічної задачі інженер-дослідник повинен знайти її рішення, яке забезпечить якнайменші негативні наслідки для людей, інженер-конструктор — передбачити при проектуванні максимум безпеки для оточення, інженер-технолог — звести до мінімуму фактори, негативні для персоналу виробництва, а інженер-експлуатаційник — забезпечити додержання умов безпеки на виробництві і навчити персонал виробництва правилам безпечного поводження з технікою.

Таким чином, інженери всіх чотирьох профілів відповідальні за покращення умов і охорону праці, за її наукову організацію.

1.3. Інженерна діяльність та природа

Грунт, водний простір і атмосфера Земної кулі населені живими істотами. Ця частина природи утворює біосферу Земної кулі. В біосфері відбуваються складні обмінні процеси. Для їх вивчення людина створила цілу науку — екологію (від грецького — *οἶκος* — місце проживання і *λογος* — навчання).

Існування любого живого організму залежить від рівноваги відбуваючихся в природі обмінних процесів. Звичайно, природні катаклізми змінюють вигляд Земної кулі, разом зі зміною геологічних епох змінюється рослинний і тваринний світ. Про мамонтів та гігантських деревовидних папоротників, наприклад, ми знаємо лише по копалинам і закам'янілим залишкам. Але не тільки стихії природа зобов'язана вимиранню цілих видів тварин, знищенню рослинного покрову Земної кулі.

Людина — продукт природи. Вона не відділена від неї. Для нормальної її життєвої діяльності необхідна екологічна рівновага та потрібні суворо визначені природні умови. Перегріється людина на сонці, і їй вже потрібна лікарська допомога, а без нормальної кількості кисню в атмосфері вона почуває себе, як викинута на берег риба.

Людині потрібна їжа, яку вона забезпечувала собі з глибокої давнини будучи озброєною лише луком зі стрілами та мотикою. При цьому природі не загрожувало ні вимирання окремих видів тварин, ні знищення лісів.

Але ж зріст народонаселення Земної кулі, неухильне зростання духовних та матеріальних потреб людини — є законом розвитку людства. Цей закон зумовлює і технологічний шлях розвитку людського суспільства, оскільки лише на цьому шляху можливе достатньо повне задоволення наших потреб. Тому цілком закономірно, що примітивні знаряддя праці були замінені на складні машини, і бурхливий науково-технічний прогрес — це прикмета нашого часу.

Тому не дивно, що людина пишається своєю технікою. Але техніка не завжди прихильна не тільки до людини, але й до усієї природи. Техніка не тільки служить людині, вона інколи виступає й проти неї, виступаючи зразу проти всієї природи. Будь-якому технічному виробництву потрібна сировина — тоді витрачаються природні ресурси. Промисловість дає виробничі відходи, які забруднюють навколишнє середовище. І часто не потрібні природні катаклізми, щоб залишити людину без атмосферного кисню, людина робить це сама за допомогою своєї техніки.

Це й не дивно, якщо сучасний літак за секунду польоту використовує стільки кисню, скільки його виробляє один гектар лісу за 8–14 годин. Але ж ці години складають практично весь продуктивний інтервал часу в цілому добовому циклі життєвої діяльності дерев. То ж, для гектару лісу, зеленіючого протягом всього року, потрібно приблизно 10 років життя, щоб насичити авіалайнер киснем протягом однієї години польоту. А літає він не одну годину в добу і не в єдиному числі! І не всі ліси зеленіють протягом року!

Не відстають від літаків і автомобілі. Їх рухається майже 300 млн. Не тільки супроти пішоходів виступає ця механічна армія створена людиною. Вона воює проти всієї природи, порушуючи її спокій знищувальним шумом, залишаючи її без живлячого кисню, забруднюючи атмосферу отруйними газами. В Токію, наприклад, поліцейські-регулювальники вуличного руху вже не завжди можуть обходитись без кисневих масок. Та й пішоходи часто вимушені прибігати до платного кисню [1].

В одному строю з транспортом наступають на природу численні армії промислових підприємств. Ряди заводських труб викидають в атмосферу дим та кіпоть, вуглекислий та сірчаний гази.

Не тільки людина страждає від змаріння природи. Греблі гідроелектростанцій вишикувались в ряди, які захищають людину від темряви, холоду та голоду. Але цей же ряд перегородив шлях риби. Знищувальними для риби стали і численні викиди промислових підприємств.

Академік М.С.Гіляров писав: "Забруднення атмосфери, ґрунту та води шкідливими викидами промисловості та транспорту стало всесвітньою екологічною проблемою. ...Проблема ця технічна та економічна в більшій мірі, аніж екологічна".

Інженерне мистецтво, як і в давнину, продовжує служити війні. Винаходжуються нові технічні засоби ведення війни, які спрямовані проти людей і нищівно впливають на всю природу. У в'єтнамській війні, наприклад, американці знищили біля половини рослинного покриву країни і на багато років започаткували на цій землі безпліддя.

Чи означає все сказане раніше, що ми не повинні розвивати техніку? Адже без втручання людини у природі дійсно б існувала екологічна рівновага. Але тоді людству не знайшлося місця на нашій планеті. Без техніки не було б самої людини. Адже праця, виготовлення знарядь праці, видобуток корисних копалин, виробництво все більш ускладнюючихся технічних виробів становить основу самого існування та розвитку людського суспільства. Не можна загальмувати розвиток цивільної техніки. Застосування людством військової техніки, звичайно, повинно бути обмеженим, а в майбутньому треба намагатись зовсім відмовитися від такої перспективи. В цьому його борг і перед природою, і перед самим собою, перед своїми нащадками. Наша держава постійно приділяє увагу вирішенню цієї проблеми. Можна бути впевненим, що рано чи пізно, війнам буде покладено край, звання *homo sapiens* (лат.) — людина розумна — знайде собі ще одне підтвердження, а військова техніка займе своє місце у музеях поряд із кам'яними сокирами.

Але залишається ще техніка, яка призвана не нищити людину, а служити їй. Її до музею не віддаси. Цього і не треба робити, якщо не казати про застарілі технічні вироби. Але як же поводитися з вичерпанням природних ресурсів, з ростом забруднення навколишнього середовища? Адже з прискоренням науково-технічного прогресу зростає і процес руйнування природи людиною. Якщо проблема підтримки екологічної рівноваги на Землі не стояла гостро перед людством ще декілька десятиліть тому, то зараз стан став тривожним. І тривогу викликає не тільки вичерпання корисних копалин та інших природних ресурсів. Адже змінюється навіть склад атмосфери. Земля може зробитися зовсім непридатною для життя людини. Перед людством починає мерехтіти екологічна криза, внаслідок котрої народонаселення Землі може різко скоротитися. Цей процес нібито є природним і виглядає неминучим. Але це не так.

Техніка і природа можуть не протистояти одна одній. Людина може не ворогувати з природою, а опинитися з нею в гармонійній рівновазі. Адже це ворогування народжене не природою людини, а суспільними умовами її існування. Не техніка нищить природу, а визначене людське суспільство з властивими йому суспільними відносинами. Від того, яким воно буде, залежить подальша доля природи, а разом з цим і доля людства.

Під тиском держави та під загрозою повної втрати прибутків внаслідок вичерпання природних ресурсів приватні фірми йдуть зараз на витрати по будівлі очисних споруд або по змінінню технології. Але спроби державного планування охорони природи нашттовхуються на протидію монополій.

У 1952 р. відомий радіоінженер В.П.Вологдін був удостоєний Державної премії СРСР за участь у розробці обладнання для ковального цеху. Основу цього обладнання склали високочастотні пристрої, котрі використовувались для індукційного розігріву ковальських заготовок. Ці пристрої звільнили виробництво від вогнедихаючих горнів, отруючих атмосферу. Обладнання дало можливість застосовувати потужні преси. Місцевість заводу наповнилася незвичною тишою. До музею були здані гуркотячі молоти, які були традиційним ковальським інструментом. Нове обладнання полегшило працю коваля та зробило її нешкідливою для навколишнього середовища.

Цей приклад не винятковий. Відомі, наприклад, електродимові фільтри, котрі ефективно очищають повітряне середовище від різних промислових забруднень. Зараз інженери намагаються позбавити автомобіль від двигуна внутрішнього горіння, отруючого атмосферу. Майбутнє лежить за електромобілем з двигунами, працюючими від

електричних акумуляторів. Велика роль у вирішенні цієї технічної проблеми відводиться і інженерам-електронікам. Але і акумулятор є небезпечним для навколишнього середовища. А чи не запропонують інженери свої рішення цієї проблеми, як це зробили в ковальських цехах? Є і інші екологічні задачі, вирішення яких багато залежить від фахівців. Їх вирішення залежить від можливостей електроніки.

Фахівці з електроніки вже створили для екологів мініатюрні прилади, котрі дозволяють вивчати міграцію тварин з метою збереження зникаючих видів, створювати умови для їх існування та розвитку. Така робота вже дала хороші наслідки. Для потомків збережені рідкісні види тварин.

Автоматизація виробничих процесів на основі електронної техніки дозволяє точно дотримуватися технологічних режимів, які найменше шкідливі для навколишнього середовища.

На основі електроніки можна революційно переозброїти будь-яке виробництво, яке забезпечує екологічну рівновагу у природі. Зараз розроблюються високоефективні електронні прилади для безпосереднього перетворення сонячної енергії в електричну. Успіх цих робіт передумовить не тільки ліквідацію забруднення навколишнього середовища, але й запобігне перегріву атмосфери від теплових енергетичних установок (включаючи атомні), що також є важливою екологічною задачею.

Спеціальні електронні вимірювальні прилади вже зараз є незамінними засобами для контролю стану навколишнього середовища — рівня шуму, складу атмосфери, ступеня забруднення рік і т.ін. Такий контроль необхідний не тільки для оперативного прийняття відповідних заходів при виникненні екологічно несприятливих ситуацій, але й для вивчення динаміки екологічних процесів. На основі таких досліджень можливе екологічне прогнозування та планомірне покращення навколишнього середовища.

Успішне вирішення екологічних проблем залежить від багатьох фахівців. Але не слід забувати, що саме ці проблеми виникли в результаті технічної діяльності людини. Тому і їх вирішення залежить, в першу чергу, від фахівців. Адже ж ніщо більше, ніж інженерна діяльність, не зможе ушкодити природі, але й ніхто краще за інженерів не зможе вдосконалити навколишнє середовище, яке оточує людину. Тому інженер будь-якого профілю та будь-якого фаху повинен пам'ятати про свій борг перед природою та суспільством. Майбутнє природи — в руках інженера.

Розділ 2. Ступенева вища освіта — бакалавр, фахівець, магістр

2.1. Інженер — фахівець, людина, громадянин

Словники визначають інженера як фахівця з вищою технічною освітою. Такого визначення цілком достатньо для сторонньої людини. Але майбутній інженер повинен глибше з'ясувати сенс цього звання, усвідомити вимоги суспільства, які виставляються до інженерної діяльності, і можливості обраної спеціальності, з'ясувати свою роль у колективі, і зрозуміти значення технічної інтелігенції у суспільстві.

Інженер — це фахівець, який призначений прискорювати науково-технічний прогрес. Знання і праця народжують майстерність. І знання, і майстерність лише частково одержують в інституті. Знання дуже швидко старіють. І не зможе наздогнати науково-технічний прогрес той інженер, котрий обмежився одержаними в інституті знаннями та вміннями і не навчився примножувати їх. Нові знання народжуються кожного дня, науково-технічна інформація зростає наче лавина. Цю інформацію приносять нам монографії і спеціальні журнали, бюлетені винаходів та науково-технічні звіти, які друкуються як у в Україні, так і за кордоном. Людського життя не вистачить, щоб тільки прочитати сотні книжок і багато тисяч статей, які друкуються щорічно. І все ж інженер повинен вміти орієнтуватися у цьому морі інформації, повинен вміти черпати з нього потрібні знання. Для цього інженер повинен володіти достатнім обсягом знань з свого фаху, знати бібліографію, бути обізнаним в основах патентознавства, вміти працювати з книгою і знати хоча б одну, а ще краще дві іноземні мови настільки, щоб читати літературу з фаху.

Оновлюючи свої знання, треба розвивати і свої практичні навички, вдосконалювати майстерність. Для цього треба освоювати передовий досвід інших фахівців, вивчати практику створення ринкових відносин. Інженер зможе активно впливати на темпи науково-технічного прогресу, якщо він прагне творчості. Творчість потребує великої і неустанної праці. Але праця утішає, коли ти відданий своїй справі. Без любові до неї, яка не є праця стає тягарем.

То ж щоб виправдати звання Фахівця, інженер має володіти знаннями і практичними навичками, не втомно поновлювати свої знання, удосконалювати майстерність, і працювати творчо, самовіддано віддаючи себе улюбленій справі. Інженер не може замикатися у шкарлупці свого фаху. Широта інтересів є основною рисою інтелігенції. Тому інженер повинен постійно підвищувати кваліфікацію та культурний рівень.

Являючись представником передової інтелігенції, інженер повинен бути зразком професійної діяльності і мати високі моральні якості — "чесність та правдивість, моральну чистоту, простоту та скромність в суспільному і особистому житті" .

Деякий читач може заперечити, що переліченими якостями повинна володіти кожна людина. Так! Інженер має бути Фахівцем і Людиною! Він очолює колектив робітників, які в своєму житті більшою мірою орієнтуються на керівника. Інженер мешкає і працює у колективі. Його інтереси не можуть бути відірваними від колективних. Успіхи колективу — це його успіхи. Його здобутки — це вдачі колективу. І будучи організатором виробництва, інженер повинен запалювати колектив на досягнення. Інженер повинен мислити по-державному. Громадянська зрілість, почуття патріотизму завжди були притаманні представникам передової думки. Інженер здобуває знання із світової скарбниці досягнень науки і техніки. В цій скарбниці сконцентрована передова думка кращих розумів представників народів всього людства. Тому інженер не може залишатись стороннім інтересів свого народу. Колективізм, патріотизм це ті якості інженера, які характеризують його як громадянина. І всі свої звання — Фахівця, Людини і Громадянина — повинен високо і з честю нести інженер.

В Україні прийнята багатоступенева система підготовки бакалаврів, фахівців (інженерів) та магістрів. Базова бакалаврська підготовка однакова для всіх вузів України. За чотири роки по типовим навчальним програмам студент отримує теоретичні знання та практичні навички, які достатні для здачі державного екзамену, захисту кваліфікаційної роботи та присвоєння державною комісією кваліфікації бакалавра. Продовження навчання відбувається або на добровільних засадах, або за рейтингом за результатами навчання. Фахівець та магістр це дві паралельні кваліфікації, які можуть отримати студенти за 5 років навчання, де перша кваліфікація визначена переважно для народного господарства, а друга — для наукових досліджень. Для цього треба скласти державні екзамени та захистити дипломний та магістровський проекти. Допускається безкоштовне навчання студентів за державним замовленням за результатами конкурсного відбору, та з частковою або повною компенсацією затрат на навчання по угоді з університетом особисто студентом або з допомогою спонсора.

2.2. Інженер — фахівець широкого профілю

Сучасний інженер — фахівець широкого профілю. Широка спеціалізація інженера означає перш за все його вміння працювати із

різноманітними технічними об'єктами. Наприклад, інженер електронної техніки повинен вміти працювати з різноманітними електронними системами в промисловості.

Але самі технічні об'єкти не залишаються незмінними. Сучасна техніка відрізняється від колишньої однією особливістю: вона скоріше старіє. Зрозуміло, не в тому значенні, що скоріше зношується та ламається. Вона стариться морально. Життя виставляє техніці нові вимоги, прискорюється науково-технічний прогрес. Техніка, що сьогодні користується попитом, завтра може бути споживачем обійдена стороною. Тому сучасна техніка, безперервно поновлюючись, має радикальні зміни. Вони відбуваються при житті одного покоління інженерів.

Раніше, наприклад, багато поколінь інженерів при технічних розрахунках обходились логарифмічною лінійкою, використовували механічний арифмометр і електромеханічні лічильники напівавтомати та автомати. Зараз же при житті одного покоління інженерів електромеханічні лічильні прилади були усунені електронною обчислювальною технікою, а сама ця техніка перекрокувала через чотири покоління електроних обчислювальних машин (ЕОМ). Ці покоління ЕОМ відрізняються перш за все своєю елементною базою. Її основу складали раніше електронні лампи, потім — напівпровідникові електронні прилади, а сьогодні — інтегральні схеми, тобто напівпровідникові кристали, в яких поєднується декілька електроних приладів, конденсаторів та інших елементів, і великі інтегральні схеми (ІС), тобто схеми з багатьма тисячами елементів. Тепер ЕОМ настільки міцно ввійшли в наше життя, що і школярі не обходяться без мікрокалькуляторів, зібраних на ВІС (великих інтегральних схемах), а деякі студенти, користуючись персональними (електронно-обчислювальними машинами) — комп'ютерами (ПК), починають навіть забувати таблицю множення.

Зростання обсягів виробництва та ускладнення інженерних розрахунків привело до швидкого прогресу розвитку обчислювальної техніки. Якщо раніше нас дивували ЕОМ, які виробляли тисячі обчислювальних операцій за секунду, що зараз вбачається недостатнім, то зараз досягнена швидкість лічення до мільярдів операцій за секунду. Наприклад, для вирішення в допустимий термін обчислювальних задач, пов'язаних з народогосподарським плануванням у масштабі нашої країни, потрібна ЕОМ, яка виконує багато сотень мільярдів операцій за секунду. Щоб досягти таких якісно нових результатів, обчислювальна техніка повинна подолати рубіж п'ятого покоління ЕОМ, в яких будуть використовуватись оптоелектронні елементи (електронні елементи з

використанням оптичних ефектів), кріотрони (електронні перемикачі з використанням явища надпровідності) та інші нові елементи. Зміна елементної бази в ЕОМ була б неможлива без радикальних змін в технології виробництва. Можливості обчислювальної техніки залежать не тільки від технологічних досягнень. Змінюються самі принципи організації лічення в ЕОМ та їх структура.

Аналогічні радикальні зміни відбуваються і в радіотехніці [2]. На зміну лампам з високою напругою прийшли надійні в роботі транзистори. Змінюється елементна база, засоби їх монтажу. Традиційні монтажні проводи були замінені на друкований монтаж. Відбулися радикальні зміни технології виробництва електронних систем.

Електронні системи настільки ускладнилися, що і надійність друкованих схем з транзисторами стала вже недостатньою. Зараз ІС і ВІС, оптоелектронні прилади та кріогенна техніка використовуються в ряді систем. Наприклад, в побутових радіоприладах — радіоприймачах і телевізорах, а також в електрофонах, електромузикальних інструментах і т.ін. В техніці систем керування позначається наступна зміна елементної бази і освоєння елементів, в яких будуть використовуватись процеси на молекулярному та атомному рівнях.

Разом із зміною елементної бази змінюється не лише технологія виробництва електронних систем. Змінюються самі принципи роботи пристроїв. Наприклад, радикально змінюються традиційні електричні (радіотехнічні) фільтри, призначені для виявлення корисних сигналів і заглушення перешкод. В електричних фільтрах використовується явище резонансу — різкий зріст амплітуди коливань на визначеній (резонансній) частоті. Такі резонансні фільтри не завжди достатньо ефективно відокремлюють корисний сигнал від перешкоди, мають велику вагу і габарити та обладують іншими недоліками. Зараз резонансні фільтри витісняються іншими пристроями, в котрих використовуються нові принципи фільтрації.

Прикладом може бути цифровий фільтр, який є, по суті, мініатюрною спеціалізованою ЕОМ, зібраною на ІС та ВІС. На вході такого фільтру безперервні коливання, являючі собою суму корисного сигналу та перешкоди, перетворюються спочатку у дискретну послідовність чисел, відображуючих величину вхідного сигналу в послідовні моменти часу. По цим числам розраховується (як в ЕОМ) такий сигнал, який повинен з'явитися на виході деякого фільтру з найкращими характеристиками, яких неможливо або важко досягнути у резонансних фільтрах. Вирахований сигнал одержується очищеним від перешкоди. Він має, як і раніше, дискретну цифрову форму, тобто має вигляд послідовності чисел (цим і обумовлена назва цифрового

фільтру). Одержаний таким чином відфільтрований дискретний сигнал на виході фільтру знов перетворюється у безперервне коливання. На прикладі цифрового фільтру видно, що сучасні радіопристрої починають органічно зливатися з електронною обчислювальною технікою.

Такі революційні перетворення у техніці багаторазово відбуваються при житті одного покоління. Відповідні зміни умов інженерної діяльності відбуваються навіть для того спеціаліста, який працює з однотипними технічними об'єктами, наприклад, тільки з телевізійною апаратурою (попутно зазначимо, що і телебачення на наших очах крокнуло від чорно-білого до кольорового зображення, а черга за об'ємним телебаченням).

Таким чином, якщо врахувати різноманітність технічних об'єктів, їх постійне відновлення, то під поняттям — інженер широкого профілю слід розуміти фахівця, здатного пристосовуватися до безперервно змінюючихся умов діяльності.

Все сказане відноситься до всіх чотирьох розглянутих видів інженерної діяльності. Якби інженер повинен був знову та знову освоювати безперервно поновлювану техніку лише з метою її обслуговування, то під фахівцем широкого профілю ми розуміли б тільки інженера — експлуатаційника. Але безперервно поновлюється і технологія, тому і інженер-технолог теж є фахівцем широкого профілю. І, в першу чергу, інженерами широкого профілю є інженери-дослідники і конструктори, котрі знаходять та розроблюють нові принципи дії та нові конструкції технічних виробів, котрі винаходять нові технічні об'єкти та поновлюють виробництво.

По своєму сенсу поняття інженер широкого профілю означає не тільки його вміння працювати з різноманітними технічними об'єктами та в умовах безперервно поновлюваної техніки. Це поняття означає здатність інженера працювати по суміжним видам, фахам та спеціалізаціям.

Вміння працювати по суміжним профілям інженера-дослідника, конструктора, технолога та експлуатаційника, означає, що інженер-конструктор, наприклад, може повністю переключитися на експлуатаційну роботу та навпаки.

Вміння працювати по суміжним фахам означає вміння інженера виконувати роботу по схожому фаху. Така необхідність може виникнути у випадках, коли бурхливий науково-технічний прогрес викличе потребу в нових фахах. У деяких випадках нові фахи упроваджуються. Наприклад, з розвитком електронної обчислювальної техніки виникла потреба в інженерах — конструкторах ЕОМ і в фахівцях з прикладної математики, котрі могли б створювати математичне забезпечення ЕОМ,

забезпечувати організацію обчислювальних робіт ЕОМ і обчислювальних центрів. З'явився фах інженера електронних обчислювальних машин, а потім фах інженера-математика. Була впроваджена підготовка інженерів по цим фахам.

Але дуже часто в цій ситуації можливо використовувати інженерів одного із суміжних фахів. Наприклад, ще зовсім недавно, коли не вистачало інженерів для роботи з ЕОМ на цю роботу запрошувались інженери електронної техніки. Для них зміна інженерної діяльності стала можливою, тому що вони — інженери широкого профілю.

Зміна спеціалізації лежить в основі діяльності сучасного фахівця, що означає перехід інженера від одного до іншого технічного об'єкту в межах свого фаху. Такий же перехід здійснюється будь-яким інженером при поновленні техніки.

Перехід від морально застарілої на нову техніку — процес ще більш складний, ніж перехід, наприклад, на обслуговування літакового радіообладнання після роботи з радіообладнанням аеропорту. Тому для інженера широкого профілю зміна спеціалізації не спричинить труднощів.

Зміна виду інженерної діяльності, інженерного фаху або спеціалізації може бути викликана різними причинами: суспільними потребами, а також особистими інтересами фахівця. Суспільні та особисті потреби повинні гармонійно поєднуватися, що можливо саме тоді, коли інженер має широку спеціалізацію.

Фахівець широкого профілю відповідно суспільним потребам без ушкодження своїх творчих інтересів може використовувати свої знання та здібності в різних галузях суспільного виробництва. З іншого боку, цей інженер, керуючись особистими потребами, може обирати чи змінювати напрямок своєї інженерної діяльності, не завдаючи при цьому шкоди суспільним інтересам. Навпаки, якщо в основі особистих потреб знаходиться прагнення до творчої самовіддачі, то зміна профілю інженерної діяльності може піти тільки на користь суспільному виробництву.

Вельми характерною особливістю в діяльності інженера широкого профілю є його здібність працювати на стику фахів. Така діяльність означає роботу на стику різних наук в межах свого фаху. Існують дві ситуації, в яких інженеру доводиться працювати на стику різних фахів.

Перша ситуація може виникнути тоді, коли ті чи інші принципи, методи і засоби деякої галузі техніки використовуються за своїм цільовим призначенням в іншій галузі техніки. Наприклад, вище згадані електричні фільтри, які є типово радіотехнічними пристроями, використовуються для фільтрації сигналів і в пристроях автоматики, і в

електронних музикальних інструментах, і в техніці дротового зв'язку. В останньому випадку, наприклад, використання фільтрів дозволяє здійснювати багатоканальний зв'язок, при якому через одну дротову пару передаються одночасно сигнали від багатьох різних абонентів. Ці сигнали мають різні частоти, тобто передача здійснюється по різним частотним каналам, котрі і розділяються за допомогою фільтрів. З іншого боку, засоби багатоканального зв'язку, гарно розроблені в техніці дротового зв'язку, використовуються і в самій радіотехніці. У так званих радіорелейних лініях зв'язку по одному радіопроменю водночас ведеться багато тисяч телефонних розмов, передаються телевізійні програми і т.ін.

Друга ситуація, в якій інженеру доводиться працювати на стику наук, зустрічається, коли деякі принципи, методи та засоби не тільки переносяться з одної галузі техніки в іншу, але й використовуються при цьому не по своєму прямому призначенню, а для вирішення цілком нових задач. Приклади такого взаємопроникнення технічних наук нам вже зустрічалися: використання методів обчислювальної техніки у техніці фільтрації або використання струмів високої частоти в ковальській справі. Можна навести і інші приклади.

Автомобільні двигуни не обходяться без глушителів, інакше на міських вулицях вони рикали б подібно авіаційним двигунам в аеропорту. Довгий час не могли робити гарні глушители: чим сильніше глушитель заглушав шум двигуна, тим сильніше глушив він і сам двигун — вихлопні гази погано проходили крізь глушитель. А поряд з цим, у радіоприймачах працювали відмінні фільтри, які гарно заглушували будь-які перешкоди і настільки ж гарно пропускали корисний сигнал. Адже ж струя вихлопних газів — той же корисний "сигнал", який треба пропустити, а шум двигуна — та ж "перешкода", яку треба подолати. Чи не можна в цьому випадку використати теорію електричних фільтрів? Застосували. І сконструювали чудовий глушитель.

Розглянений приклад ілюструє використання засобів електроніки у механіці. Можна навести і інший приклад, коли механічні засоби використовують у електронних системах. Вже йшла мова про недоліки резонансних електричних фільтрів. Але в механічних виробках теж спостерігаються резонансні явища. Тут частіше за все вони бувають шкідливими: з курсу шкільної фізики відомий приклад з мостом, котрий був зруйнований через зростання його коливань на резонансній частоті.

Але ж механічний резонанс можна використовувати в електричних фільтрах для усунення властивих їм недоліків. Для цієї мети придатні маленькі металеві пластинки та стержні, роблячі коливання на резонансній частоті. З таких механічних елементів одержується

мініатюрний механічний фільтр, здатний відмінно фільтрувати механічні коливання. Для фільтрації електричних сигналів їх спочатку перетворюють в механічні коливання, які і подають на вхід механічного фільтру. На виході цього фільтру очищені від перешкод механічні коливання знов перетворюють в електричний сигнал. Описані пристрої, які називаються електромеханічними фільтрами, використовуються в багатьох електронних системах зв'язку.

З наведених прикладів, бачимо, що фахи, на стику яких доводиться працювати інженерам широкого профілю, можуть бути суміжними один одному, як, наприклад, у випадку електроніки та техніки дротового зв'язку. Але ж ці фахи можуть бути і надто далекими один від одного, як у випадку електроніки та механіки.

Іноді взаємопроникаючі один в одного фахи опиняються настільки різними, що для вирішення технічних задач на їх стику доводиться поєднуватися багатьом різним фахівцям. І чим далі відстоять один від одного фахи, поєднавши зацікавлених фахівців, тим вагомніше бувають результати. Коли математик Норберт Вінер поєднався з фізиком та біологом, інженером та соціологом, народилася кібернетика — наука про найбільш загальні закони керування, зв'язку та переробки інформації в технічних системах, природі та суспільстві. Кібернетика, зокрема, складає підставу для розвитку як електроніки, так і обчислювальної техніки.

Підводячи підсумок, зробимо для себе деякі висновки. Що ж визначає поняття фахівця, інженера широкого профілю?

По-перше, інженер широкого профілю повинен мати фундаментальні знання. Такі знання — це не тільки ґрунтовні знання технічних наук, на яких базується галузь техніки, яка була обрана інженером. Це ще і знання фундаментальних наук, на яких будуються спеціальні технічні науки. Для інженера електронної техніки, наприклад, фундаментальні науки — це математика, фізика, інформатика та ін.

По-друге, сучасний інженер повинен мати широкі знання, необмежені межами тільки свого фаху. Для інженерної діяльності у наш час потрібні також знання по суміжним фахам, не тільки по схожим, але й з інших галузей науки та техніки. Тільки маючи такі знання, інженер може змінювати напрямок своєї діяльності та працювати на стику фахів.

По-третє, інженер широкого профілю повинен мати систематизовані знання. Систематизація знань означає не тільки їх упорядкованість. Знання треба не тільки розкладати по полицям, як книжки в бібліотеці. Систематизація знань означає їх належне дозування. У одній галузі фахівець повинен знати як можна більше та глибше, в іншій — тільки основи науки.

Треті ж галузі інженер повинен знати лише настільки, щоб розуміти, де слід шукати рішення задачі і відповідно з цим поглибити свої знання.

2.3. Інженер — творчий працівник

Наслідувальника в мистецтві, а тим більш плагіатора ніхто не називає творцем. В інженерному мистецтві теж бувають свої наслідувальники та плагіатори, але їх важче виявити. Та й не з'являючись прямим плагіатором, не кожний інженер гідний називатися творцем, хоч він і повинен їм бути.

Працювати творчо — це означає створювати щось нове. Але й роблячи нові речі, можна не бути творцем. Творіння — не те нове, що блищить свіжими кольорами, а те, що блищить новою думкою. Творець — не той інженер, котрий виробляє нові вироби по старим зразкам, а той, хто створює нові зразки.

Щоб створювати, творити, треба не тільки мати фундаментальні, широкі та систематизовані знання, вміти поповнювати свої знання, але треба ще й вміти думати. Знання і роздум народжують нове знання. Створення нових знань є одною з найвищих форм творчої діяльності людини.

Але і знань, і вмінь думати недостатньо для творчості. Не слід забувати, що сама робота думки є, хоч і натхненною, але й важкою працею. Якщо ж говорити про інженерну та багато інших творчих діяльностей, то нові знання не є кінцевою метою творчості. Щоб втілити нові знання в життя, знов потрібні і вміння думати, і працювати.

Нові знання, вміння думати і праця породжують нову техніку, ту техніку, якою століттями пишається людство, ту техніку, яка прискорює науково-технічний та суспільний прогрес.

Знання, вміння думати та праця складають триєдину підставу та зміст творчості.

Творчі завдання можуть мати різну складність. І чим складніше завдання, тим важче дається його рішення, тим більш цілеспрямованою повинна бути творча діяльність. Адже погоня за бажаним результатом може продовжуватися не один день чи тиждень, а багато місяців та років. Щоб не стомитись та не охолонути в цій погоні, треба мати чітку мету, бути їй беззавітно відданим і наполегливо долати всі труднощі на шляху до рішення поставленої задачі.

У творчій діяльності приходиться виконувати і шаблонну працю, наприклад робити стандартні обчислення. Обсяг такої праці може бути дуже великим, і щоб вона не була важкою, інженер повинен володіти відповідними міцними знаннями та твердими навичками. Він повинен знати, як використовувати довідникову літературу, і вміти швидко рахувати, знати

обчислювальну техніку і вміти розумно замінювати складні обчислення на більш прості. Наприклад, досконалі громіздкі розрахунки замінювати приблизними простими, похибка котрих не підвищує допустимого розміру. Тоді рутинна частина праці у творчій діяльності буде забирати незначний час і основну увагу можливо буде приділити творчості.

Творчість являється основою інженерної діяльності. Творчо працюючий фахівець генерує нові ідеї та формулює нові технічні задачі, збагачує технічні науки новими результатами та розробляє нові методи вирішення інженерних задач. Інженерна творчість — це також критичне осмислення нових знань та чужого досвіду, розумне та раціональне використання і припасовка до свого виробництва.

Творчість фахівця — це розвиток ним своїх практичних навиків. Типовою формою творчої діяльності являється винахідницька та раціоналізаторська робота.

Відкриттям признається установлення невідомих раніше об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей та явищ матеріального світу, які вносять корінні зміни в рівень знань.

Винаходом називається нове та маюче суттєві відміни технічне вирішення задачі влюбій сфері народного господарства, яке дає позитивний ефект. Таке рішення признаєтьсяобладаючим суттєвими змінами, якщо в порівнянні з відомими в науці і техніці рішеннями воно характеризується новою сукупністю признаков. Об'єктом винаходу може являтися новий пристрій, спосіб, речовина, а також використання відомих раніше пристроїв, способів і речовин но новому призначенню.

Раціоналізаторською пропозицією називається таке рішення технічної задачі, котре являється новим і корисним для даного підприємства. Це рішення повинно заключатись у зміні конструкції виробу, технології виробництва, використовуваної техніки або зміні складу матеріалів для виготовлення даних виробів.

Привчатися до активної роботи думки треба вже при вирішенні простих задач. Творчі задатки закладені в кожній людині. Тому вимушуючи себе думати, творчо вирішуючи навіть елементарні задачі, поступово їх ускладнюючи, можна успішно розвивати свій творчий потенціал. І тільки такий цілеспрямований розвиток творчих здібностей дозволить майбутньому фахівцю стати творцем.

2.4. Інженер — організатор виробництва

Виробництво буває різноманітним. Виробництво — це не тільки фабрики та заводи, хоча заводи бувають різні: одні випускають елементну базу електронних систем, другі випускають системи

автоматичного керування, треті їх ремонтують, четверті застосовують системи у виробництві своєї продукції. Науко-дослідний інститут, телецентр, конструкторське бюро — все це виробництва.

Завдання виробництва — випуск конкурентно спроможної продукції для свого ринка. Успіх виробництва оцінюється ефективністю — виробничими затратами та строками досягнення поставленої задачі. Підвищення ефективності виробництва одна із основних задач інженера.

Виробництво — це не тільки техніка. Трудова діяльність виробничого персоналу приводить в рух техніку. Чим краще організована праця колектива, тим ефективніше використовуються технічні можливості виробництва і праця людей.

Раціональне сполучення технічних можливостей виробництва та трудового потенціалу колективу дозволяє скорочувати трудові, матеріальні та енергетичні затрати, прискорювати рішення виробничих задач.

Роль фахівця як організатора виробництва дуже велика. Інженер як організатор виробництва являється керівником колективу.

Сучасний фахівець в своїй діяльності не замикається межами виробництва. Він постійно працює з різноманітними організаціями в інтересах свого виробництва. Його контакти широкі і різноманітні. Чим вище підіймається фахівець по драбині професійної майстерності, тим потрібніше заняття суспільною діяльністю, участю в різноманітних виборних кампаніях.

Більшість державних, політичних діячів, народних депутатів в минулому інженери, які сказали своє вагоме слово у виробництві. На певному етапі своєї діяльності суспільна діяльність стає конче потрібною в інтересах великих корпорацій, регіону, держави.

Тому інженер приймає участь в різноманітних рухах, де ціль захист прав і свобод людини. В демократичній державі такі вимоги до фахівців тільки посилюються.

Розділ 3. Технічний університет

3.1. Вища технічна освіта

Багатоступенева підготовка бакалаврів, фахівців та магістрів відбувається в класичних та технічних університетах, академіях та інститутах, які повинні мати ліцензію на провадження освітньої діяльності, бути акредитованими за 3 або 4 рівнями акредитації.

На території СНД цивільна вища технічна освіта була започаткована в кінці XVII ст. на початку XVIII ст. У 1701 р. в Москві відкрита багатoproфільна військова школа математичних та навігаційних наук. Третя ступінь дозволяла отримувати дипломи: навігатора військово-морського флоту, суднобудівника, геодезиста.

Відкриті класичні університети в Москві (1755), Тарту (1802), Казані, Харкові (1804), Петербурзі (1819), Києві (1835), Одесі (1864), Варшаві (1869), Томську (1880) з медичними факультетами, Саратові (1909), Пермі (1916).

Традиції багатoproфільної підготовки інженерів були збережені і в інших вищих навчальних закладах. До них відносились, наприклад, Гірниче училище, відкрите в Санкт-Петербурзі в 1773р. та прирівняне до академії, та Інститут корпусу шляхів сполучення (1809), перетворений у 1864 році в цивільний інститут. Ці найстаріші вузи Росії відомі зараз як Санкт-Петербурзькі гірничий інститут та інститут інженерів залізничного транспорту. Один з найстаріших інженерних вузів — Санкт-Петербурзький інженерно-будівельний інститут був відкритий як будівельне училище у 1832р., а в 1882р. перетворений в інститут цивільних фахівців.

Поряд з галузевими вузами стали утворюватися політехнічні інститути, призначені для навчання фахівців різноманітних галузей техніки. Перший політехнічний інститут був створений в Ризі у 1896р. на базі політехнікума, заснованого в 1862р. Згодом були організовані політехнічні інститути в Києві (1898), Петербурзі (1899).

Найстарішим технічним вузом на території України є Львівський політехнічний інститут (Політехніка), заснований у 1844р. як технічна академія. Вища технічна освіта мала багаті традиції. Провідні технічні вузи давали широку і глибоку теоретичну базу, пов'язану з завданнями практики. Уряд Росії мало уваги приділяв розвитку вищої освіти. Для відсталої промисловості їх не вистачало. На підприємствах використовувались іноземні фахівці. В переддень першої світової війни в імперії було 16 цивільних технічних вузів.

Вища технічна освіта в Росії, а потім в Союзі республік стала бурхливо розвиватися з перших років Радянської влади. Цей розвиток йшов у декількох напрямках. По-перше, розширювались існуючі інститути, в яких утворювались нові факультети. Наприклад, в Московському вищому технічному училищі (МВТУ), заснованому в 1830р. як ремісниче училище і перетвореному в 1868р. в вище технічне училище, у 1917р. були створені: електротехнічний, інженерно-будівельний і аеромеханічний факультети. Харківський і Томський інститути, які були засновані відповідно в 1885р. і 1896р., перетворені в політехнічні інститути. По-друге — почали створюватися нові інститути. Наприклад, у 1918р. був започаткований Одеський політехнічний інститут, заснована Московська гірнича академія. У 1921р., на базі електротехнікума, відкритого у 1920р., створено Московський електротехнічний інститут зв'язку (МЕІЗ). У 1930р., на базі Московської гірничої академії, було створено шість інститутів. У тому ж році на базі факультетів Московського вищого технічного училища були відкриті авіаційний та енергетичний інститути (МАІ і МЕІ). По-третє — розширилась географія технічних вузів, вони почали ґрунтувались на відсталих окраїнах імперії: у 1918р. відкрито політехнічний інститут у Владивостоці, в 1922р. — у Тбілісі, в 1930р. — в Іркутську, в 1933р. — у Ташкенті, в 1950р. — у Баку, в 1970р. — в Махачкалі.

У 1920 році в м. Кам'янському (нині м. Дніпродзержинськ) було засновано політехнікум, який згодом став вечірнім металургійним інститутом. У 1967 році на його базі створено індустріальний інститут, нагороджений орденом Трудового Червоного Прапора, який в 1994 році переріс в технічний університет, акредитований за 4 рівнем. Підготовка бакалаврів, фахівців та магістрів ведеться за різними фахами на 5 факультетах університету, зокрема на:

металургійному — металургія чорних металів, ливарне виробництво чорних та кольорових металів, технологічні та металургійні процеси зварювання, промислова екологія та охорона навколишнього середовища, хімічна технологія неорганічних речовин;

технологічному — електронні системи, фізична та біомедична електроніка, програмне забезпечення обчислювальної техніки та автоматизованих систем, апаратура радіозв'язку, радіомовлення та телебачення, фізика твердого тіла, промислова теплоенергетика та енергозбереження, електропривід та автоматизація промислових установок та технологічних комплексів, електрообладнання автомобілів і тракторів, обробка металів тиском;

механічному — технологія машинобудування, металорізальні верстати і системи, інструментальне виробництво, автомобілі і автомобільне господарство, металургійне обладнання, прикладна математика, обладнання харчових підприємств, біотехнологія;

економічному — фінанси і кредит, облік і аудит, менеджмент у виробничій сфері, переклад;

заочному — крім названих вище — автоматизація технологічних процесів і виробництв, хімічна технологія палива та вуглецевих матеріалів.

У 1980/91 навчальному році на всій території бувшого Союзу республік розташовувалось біля 870 технічних вузів та їх філій, від Калінінграда на заході до Петропавловська-Камчатського на сході, від Норільська на півночі до Ашгабада на півдні. Відбулися глибокі соціальні зрушення в вищій технічній освіті, що була практично недоступною для широких мас робітників та селян царської Росії. При радянській владі були прийняті заходи для підготовки фахівців з числа робітників і селян. З цією метою при багатьох інститутах створені робітничі факультети (рабфаки), що готували робітничо-селянську молодь до вступу до вузу.

Зараз в незалежній Україні налічується 167 державних вищих учбових закладів акредитованих за 3 та 4 рівнями і майже стільки ж приватних. Технікуми і коледжі мають 1 та 2 рівні акредитації, знаходяться в одній системі освіти, тому загальна кількість закладів освіти в нашій державі сягає за 800.

Для підготовки інженерів та інших фахівців вищої кваліфікації система вищої освіти базується на обов'язковій загальній середній освіті. Повна середня освіта здійснюється через державні та приватні загальноосвітні школи, через середні спеціальні навчальні заклади — технікуми, коледжі та через професійно-технічні училища. Навчання фахівців середньої та вищої кваліфікації не закінчується отриманням диплому і продовжується в інститутах післядипломної освіти. На базі вищої освіти через аспірантуру готуються наукові кадри.

Продовжуючи та розвиваючи традиції технічної школи, технічні вузи СНД готують інженерів широкого профілю на основі фундаментальної теоретичної та практичної підготовки. Бурхливо розвивається підготовка фахівців з перспективних інженерних фахів таких, наприклад, як електроніка, автоматика, інтегровані комп'ютерні технології.

Навчання фахівців електронної техніки було започатковане в Московському енергетичному інституті професором Ю.Кагановим в 1943 році. В 1990р. з 35 кафедр «Промислової електроніки» бувшого

СРСР, в Україні налічувалось 9 (Києві (2), Харкові, Одесі, Запоріжжі, Сумах, Алчевську, Чернігові, Дніпродзержинську). За останні роки аналогічні кафедри були відкриті в Донецьку, Ужгороді та Миколаєві.

У вищій школі працювали відомі вчені. Так винахідник радіо А.С.Попов викладав фізику та електротехніку, проводив наукові дослідження. У 1901р. був обраний професором Санкт-Петербурзького електротехнічного інституту, де в 1905р. став виборним директором. Цього ж року А.С. Попов ввів в навчальний план підготовки фахівців курс «Електричні коливання та електромагнітні хвилі». Перший навчальний підручник з радіотехніки, написаний викладачем академії В.К. Лебедінським, «Електромагнітні хвилі і підстави бездротового телеграфу» вийшов 7-м випуском збірки Миколаївської інженерної академії і училища (1906). У 1907р. в Петербурзі був виданий підручник «Наукові підстави бездротової телеграфії», написаний викладачем Мінних офіцерських класів А.А. Петровським.

Сучасна вища освіта в галузі електронних систем передбачає вивчення багатьох фахових дисциплін, не тільки схемотехнічних. Система знань, необхідних фахівцям, змінюється по мірі розвитку техніки. Раніше, наприклад, існувала точка зору, що схемотехніку не можна видавати диплом фахівця, якщо він не знає курсу опору матеріалів, в якому вивчаються питання механічної міцності виробів. В інституті майбутні інженери вивчали опір матеріалів, теоретичну механіку та теорію механізмів і машин. Інженер був настільки ерудованим, що міг розрахувати міцність балки і зпроектувати зубчасту передачу. Але при цьому поняття електричної міцності лінії передачі асоціювалось у нього з розривом телефонного кабеля, непоміченим вчасно нерадивим екскаваторником. Воно і зрозуміло, адже за чотири-п'ять років навчання інженерній справі всього пізнати неможливо. Знання повинні бути різними у фахівців, що будують, наприклад, міст через річку і «радіоміст Земля — Місяць». Якщо першому інженеру не обійтись без знання теоретичної механіки, то для другого інженера вона з успіхом замінюється теорією електромагнітного поля.

Прийнята державна класифікація фахів, де регламентується необхідна система знань. В класифікації фахи, що мають спільні ознаки, об'єднані в групи. Основною загальною ознакою, по якій згруповані споріднені фахи, є однакове цільове призначення об'єктів діяльності фахівців. Інколи спорідненість фахів, об'єднаних в одну групу, виглядає неочевидною. Чому, наприклад, телефонний зв'язок та радіотехніка віднесені до одного гурту фахів? Адже такі технічні об'єкти, як, наприклад, телефон і телевізор, мають різне цільове призначення. Чи тут угруповування фахів зроблене по іншому загальному признаку?

Для відповіді на запитання слід згадати, що в числі технічних об'єктів інженерної діяльності вище були названі телефонні електричні сигнали і радіосигнали. Сигнали — і мовні сигнали, що передаються по телефону, і сигнали зображення, що використовуються у телебаченні, мають одну мету — передачу інформації.

Навчання студентів споріднених фахів може здійснюватись в одному і тому ж галузевому інституті (наприклад, в інституті зв'язку) або на одному факультеті (наприклад, на факультеті радіотехніки і зв'язку політехнічного інституту). Проте в багатьох випадках інженерів споріднених фахів навчають у різних вузах, як, наприклад, інженерів в галузі радіотехніки і авіаційного радіозв'язку. В той же час фахівців різних напрямків можуть готувати в одному інституті на різних факультетах.

Наприклад, на факультетах технічних університетів (політехнічних інститутів) можуть навчати електроніків, радистів, хіміків, електриків і механіків. Часто при цьому фахи груп об'єднуються не в політехнічному, а галузевому інституті. Тут набирає чинності інша спорідненість цих фахів, та спорідненість, що поєднує інженерні об'єкти різного цільового призначення в єдиних технічних комплексах. Наприклад, такий технічний комплекс, як сучасний літак, поєднує в собі безліч технічних об'єктів різного цільового призначення. Тому інженерів авіаційних фахів навчають в вузах цивільної авіації.

Навчання фахівців з напрямку «ЕЛЕКТРОНІКА» відбувалась в технічних вузах та їх філіях, розташованих в 30 містах бувшого СРСР. В якому б інституті не навчався інженер, його освіта не закінчується отриманням вузівського диплому. Обмеженість знань, винесених з інституту, та швидка поновлюваність техніки в умовах бурхливого науково-технічного прогресу вимагають від інженера удосконалення його майстерності.

Студенти споріднених фахів навчаються на одному факультеті. Тому в нашій країні вища технічна освіта не обмежується навчанням у вузі. Існує також мережа інститутів післядипломної освіти. Тут інженери можуть отримати другий фах.

3.2. Організація навчального процесу

Навчальний процес та його організація в інституті знайомі, та не знайомі вчорашньому школяру, сьогоднішньому студенту. Гранична точка зору шкідлива. Небезпечно гадати, що все знайоме, а змінилися тільки назви, отже, можна навчатися шкільними методами. При такому відношенні з школяра не вийде гарного студента, згодом з нього

отримається поганий інженер. Ще небезпечніше рахувати, що в інституті все по-новому, що можна забути, наприклад, шкільну звичку працювати кожний день, якщо не виставляють оцінки у класному часописі. При такому погляді з студента може взагалі не вийти інженера. Починаючому студенту важливо зрозуміти, що в інституті треба займатися інакше, ніж в школі, тому що у них хоча й подібні, але різні завдання. Тому і навчальний процес в інституті організований не так як в школі.

Причин тому багато. По-перше, згідно з Конституцією України середня освіта є обов'язковою. Знаходження в інституті є не обов'язком, а конституційним правом. Але після зарахування до інституту успішне навчання стає обов'язком. Тому навчальний процес у вузі організований в розрахунку на молодих людей, що свідомо обрали собі мету в житті, хочуть стати хорошими фахівцями і приносити максимальну користь суспільству. Держава надає для цього всі можливості. Для забезпечення права громадян України на вищу освіту розвивається мережа державних та приватних вузів. У більшості вузів викладання проводиться державною мовою.

По-друге, перед вузом стоять складні завдання. Хто уважно прочитав першу частину книги і зрозумів, які високі вимоги пред'являються до інженера, той зрозумів і особливості завдань вищої освіти. Мета вищої школи — зростити Фахівця, Людину, Громадянина. Складові навчального процесу в вузі нагадують шкільну організацію навчання. Але студент, що розпочинає, не повинен спокусатись: в інституті якісно інші форми навчального процесу. Мета може бути досягнута лише при відповідній організації навчального процесу. Навчальний процес у вузі не може зводитися лише до навчання. Навчити можна ремісника, інженер повинен зрости. Інститут не лише створює умови до навчання, але і зараджує студенту зрости до інженера, як садівник допомагає вирости дереву. Але рослина повинна сама тягнутися до сонця, щоб дати плоди. Так і студент повинен самий тягнутися до знань, щоб стати інженером і приносити плоди своєї освіти.

Навчальний процес в інституті складається з трьох самостійних і взаємопов'язаних частин: аудиторних занять, самостійної роботи і суспільно-трудової діяльності.

Навчальний рік в інституті розбитий не на чверті, як в школі, а на піврічні семестри навчання. В інституті передбачаються факультативні заняття, що відвідуються по своєму вибору. Аудиторні заняття включають лекції, незнайому школяру форму навчання. Свою суспільно-трудову діяльність студенти організують здебільшого самі.

Самостійна робота передбачає виконання нових для школяра форм домашніх завдань — курсових робіт та проектів, а навчання в технічному вузі завершується державними екзаменами по завершенню бакалаврської та інженерної підготовки з наступним виконанням і захистом дипломного проекту.

Усе націлене на розвиток творчих завдатків студентів, що повинні стати творчими працюючими інженерами. Тому і навчальний процес у вузі — це творче спілкування викладачів та студентів. Інститут перестає бути школою інженерів, якщо студенти не працюють творчо. Навчальний процес організований на основі суворого планування. Планування виробляється на різних рівнях.

На державному рівні, як вже говорилося, регламентуються напрямки та спеціальності, з яких здійснюється підготовка фахівців. Для кожної з них складається кваліфікаційна характеристика, визначаюча систему знань і навичок, необхідних фахівцю.

Кваліфікаційна характеристика бакалавра, фахівця та магістра визначає зміст підготовки, що є основою для складання навчальних планів. Навчальний план визначає перелік дисциплін, види знань, обсяг підготовки студентів і форми їх знань в кожному семестрі. План доповнюють навчальні програми, що визначають зміст кожної дисципліни, а також розподіл часу по видам занять. Навчальний план дає змогу скласти семестрові розклади аудиторних занять, подібні шкільним розкладам.

З урахуванням розкладу занять на семестр студент повинен скласти особистий план самостійної роботи. При такому плануванні студенту потрібно врахувати свої особисті якості. Неоднакові здібності студентів до сприймання тих чи інших предметів, наявність деяких прогалин у своїх знаннях вимагають індивідуального підходу.

Напрямок 6.0908 «ЕЛЕКТРОНІКА» включає навчання бакалаврів, інженерів та магістрів з таких фахів.

1. Технологія матеріалів та компонентів електронної техніки — 7.090801.
2. Електронні прилади та пристрої — 7.090802.
3. Електронні системи — 7.090803.
4. Фізична та біомедична електроніка — 7.090804.

Навчальними планами інженерних фахів передбачається вивчення 6 циклів дисциплін. Наприклад, з фаху 7.090804 «Фізична та біомедична електроніка» кількість годин учбових занять в вузі становить для: гуманітарних та соціально-економічних 1368 годин; фундаментальних та професійно-орієнтованих дисциплін 2430 годин; професійно-орієнтованих дисциплін за переліком програм 432 години; самостійного

вибору технічним університетом 522 години; вільного вибору студентом 378 годин; за професійним спрямуванням фахівця 504 години.

Всього, з урахуванням самостійної роботи, за професійним спрямуванням бакалавра передбачено 8236 годин; за професійним спрямуванням фахівця — 8992 години.

До першого циклу відносяться: історія, українська мова, українська та зарубіжна культура, філософія, політологія, соціологія, основи економічних теорій, основи педагогіки та психології, релігієзнавство, іноземна мова, основи права, фізичне виховання, основи конституційного права.

До циклу фундаментальних та професійно-орієнтованих дисциплін відносяться: вища математика, фізика, інформатика, інженерна комп'ютерна графіка, фізична хімія, безпека життєдіяльності, метрологія, спецрозділи фізики, теорія електричних і електронних кіл, матеріали електронної техніки, вакуумна і плазмова електроніка, твердотільна електроніка, технологічні основи електроніки, аналогова схемотехніка, цифрова схемотехніка, квантова електроніка, моделювання в електроніці, мікропроцесорна техніка, енергетична електроніка, електронні системи, менеджмент.

Загальнонаукові дисципліни потрібні інженеру будь-якого фаху. Вони забезпечують формування особистості фахівця, його світогляд, виховання Людини та Громадянина, дають знання, необхідні інженеру в його практичній діяльності, і закладають основи для вивчення загальноінженерних та фахових дисциплін. Загальноінженерні дисципліни також безпосередньо використовуються в фаховій діяльності і є основою для вивчення різноманітних фахових дисциплін. Проте на відміну від загальнонаукових їх номенклатура та зміст визначаються в залежності від характеру фахової підготовки інженера. Наприклад, при навчанні інженерів-механіків, до таких дисциплін відносяться опір матеріалів та теорія механізмів і машин, а в матеріалознавстві вивчаються сталь, чавун та кольорові матеріали. Для фахівця електронної техніки загальноінженерними дисциплінами є основи теорії ланцюгів, електронні прилади та інші, а матеріалознавство замінюється курсом «Матеріали електронної техніки».

Фахові дисципліни дають необхідну базу для практичної діяльності фахівців. Для радистів це, наприклад, телебачення, радіотехнічні системи. Загальнонаукові та загальноінженерні дисципліни забезпечують підготовку фахівців широкого профілю, дозволяють йому працювати на стику наук в умовах постійно поновлюваної техніки. Тому, наприклад, в фізиці майбутні схемотехніки вивчають не лише електрику, але і механіку, не тільки коливальні

процеси, але і ядерні перетворення. Настільки фундаментально будуються і другі загальнонаукові та загальноінженерні дисципліни. Аналогічним чином забезпечується формування і інших необхідних інженеру якостей.

Наприклад, інженер повинен уміти поповнювати і оновлювати свої знання, як про це говорилося вище. Навчальний процес організований таким чином, щоби навчити студента працювати з джерелами інформації. Для цього майбутній інженер вивчає основи науково-технічної інформації та іноземні мови. Для цієї ж мети служить самостійна робота студентів, як одна з форм навчального процесу. Інженер будь-якого напрямку повинен уміти проводити наукові дослідження. З цією метою кафедри надають студентам можливість провадити науково-дослідницьку роботу по кафедральній тематиці. Тому і навчальним планом передбачається вивчення курсу «Основ наукових досліджень» (ОНД), що називається також навчально-дослідницькою роботою студентів (НДРС).

Організатор виробництва повинен мати економічні та другі спеціальні знання — до них відносяться безпека життєдіяльності, економіка, охорона праці, основи права.

У цілому навчальний план складається з взаємопов'язаних та взаємодоповнюючих одна одну дисциплін, що в часі вивчення вишикувались в певному логічно зумовленому порядку. Всі дисципліни, які повинен вивчити студент, точно підігнані одна до другої. Їх сукупність забезпечує формування гармонійної цілісної системи знань, необхідної інженеру. При цьому втрата однієї ланки призводить до ланцюгової реакції — випадання інших ланок. Без вищої математики не пізнаєш теорію електричних ланцюгів, без цієї теорії не засвоїти курсу підсилювальних приладів, без нього не зрозумієш роботи промислових приладів, без такого розуміння не оволодієш електронними системами, не опанувавши цими системами, не подужаєш дипломний проєкт, а без нього не отримаєш диплом про вищу освіту. Отже, втрачена перша ланка — випала математика — і не відбувся інженер!

3.3. Аудиторні заняття студентів

Відвідування аудиторних занять є обов'язковим. Проте інший нерадивий студент вишукує інколи «поважні» причини пропуску занять. Та гадає він, що по підручнику надолужить пропущений матеріал. Не розуміє такий студент, що ніяка книга не може замінити спілкування з викладачем.

Аудиторні заняття призначені не тільки для передачі знань студентам, але і для того, щоб навчити студентів самотужки набувати знань. Ці знання потрібні для надбання, не лише знань, але і навиків щодо їх використання. Вони призначені не лише для оволодіння знаннями, але і для розвитку мислення. Аудиторні заняття потрібні для спілкування студентів з викладачем, в процесі якого із студента формується інженер. Показані тут різновиди аудиторних занять не є взаємно незалежними. Матеріал викладається не лише на лекціях для лабораторних та практичних занять, але і матеріали цих занять потрібні для використання на лекціях. Аналогічні результати розв'язання задач на практичних заняттях можуть зажадатися для проведення лабораторних робіт, а результати лабораторних спостережень можуть бути покладені в основу завдань, що вирішуються на практичних заняттях.

Існують три основних види аудиторних занять в вузі: лекції, практичні заняття або семінари і лабораторні заняття. На лекціях в концентрованому вигляді викладаються основні теоретичні положення курсу, основні найбільш складні питання програми курсу. На лекціях студент набуває актуальних, фундаментальних, систематичних знань. Знань, отриманих на лекціях, студент з книги не зачепне. Не витягне він їх і з десятків книг та сотень журнальних статей, не лише тому, що таких книг немає. Та не лише тому, що у студента немає для цього часу, а на перших порах і вміння. Але і тому, що викладач, що читає лекцію, привносить своє розуміння, щодо матеріалу предмета, який викладається, доповнює літературні джерела своїм досвідом та результатами новітніх наукових досліджень. В ході лекції лектор відтворює процес виникнення та розвитку знання. Тому лекція є одним з основних засобів розвитку мислення, вона вводить студента в творчу лабораторію інженера. Лекція сама є творчим процесом. Хороша лекція неповторима, як творіння мистецтва.

Тому її не можна замінити книгою або конспектом, як творіння митця не може бути повністю замінене фотографією. Але розвивати мислення, будучи лише присутнім в якості спостерігача творчого процесу, неможливо. Треба самому активно сприймати перебіг думки. На лекції студент може залучитись до процесу творчості, якщо буде сам активно працювати і мислити разом з лектором.

На практичних заняттях студенти вирішують задачі, аналізують основні положення теорії і т.ін. Ці заняття призначені для надбання навиків використання отриманих знань. Вони дозволяють підготувати студента до практичної діяльності, тренувати розум, виконувати вправи у розв'язанні творчих завдань. Лекція вчить студента методології творчості. На практичних заняттях студент набуває практичних навиків

творчої наснаги. Ці навички не набуваються уможлядно. Їх слід розвивати, відпрацьовувати самотужки, а на перших порах — з допомогою викладача. Тому, якщо на лекціях студент працює разом з викладачем, на практичних заняттях — під керівництвом викладача, але самостійно.

На практичних заняттях студент повинен удосконалювати навички логічного мислення, тренуватися грамотного викладення своїх умовисновків. Думка відточується, набуває конкретності, будучи вираженою словами. Логічна послідовність особливо наочно виявляється в словесних формулюваннях. Тому на практичних заняттях студент повинен не лише вирішувати поставлену задачу, але і проаналізувати отримане рішення, виступаючи перед товаришами з викладенням своєї точки зору, обґрунтуванням методу вирішення задачі, поясненням отриманих результатів. При цьому студент повинен виявити наявність певних зв'язків поміж розгляненими явищами, процесами, характеристиками, параметрами, повинен проаналізувати характер виявлених зв'язків та пояснити значення цих зв'язків.

Лабораторні заняття полягають в експериментальному визначенні та вивченні явищ, процесів та властивостей об'єктів, в експериментальній перевірці та підтвердженні основних теоретичних положень курсу. На лабораторних заняттях студенти під керівництвом викладача набувають навичок спілкування з контрольно-вимірювальною апаратурою, вивчають методику експериментальних досліджень. На кожній лабораторній роботі студенти оформляють звіт у письмовому вигляді. До звіту заноситься перебіг дослідження, його результати і даються пояснення отриманих результатів з урахуванням помилок експерименту. При цьому, як і при аналізі розв'язання практичних завдань, виявляються, аналізуються та пояснюються усі зв'язки між спостереженнями та явищами, що вимірюються, процесами, характеристиками та параметрами. Таким чином, лабораторні заняття, як і практичні, зараджують студенту удосконалювати навички логічного мислення. Письмове викладення своїх умовиводів допомагає студенту закріпити навички грамотного викладення своїх логічних побудов. Але на відміну від практичних занять тут свої логічні побудови студент повинен виконувати не під керівництвом викладача, а цілком самотужки, щоб була досягнута означена мета — розвиток та закріплення навичок логічного мислення.

3.4. Самостійна робота студентів

При цьому студент учиться застосовувати свої знання та вирішувати технічні завдання, навчається самотужки аналізувати інженерні ситуації і обирати правильні розв'язання. Самостійна робота

потрібна студенту для того, щоб розвивати мислення та навчитися мислити без підказки, щоб навчитися працювати творчо, як це подобає інженеру. Наскільки студент підготовлений до інженерної діяльності, показує дипломне проектування, завершальне навчання в інституті. Дипломний проект є вирішенням реальної інженерної задачі і виконується для потреб виробництва. Виконуючи дипломне проектування, студент звітує перед державою в умінні вирішувати складні інженерні задачі. Серед різноманітних видів самостійної роботи студентів слід окремо виділити вивчення поточного лекційного матеріалу та проведення наукових досліджень.

Ці види роботи є цілком новими для студента. Вивченню поточного лекційного матеріалу студент інколи не надає належного значення. В результаті студент не лише втрачає інтерес до лекцій. Як правило, він втрачає зацікавлення і до предмету в цілому, перестає розуміти його значення для майбутньої інженерної діяльності. Такий студент втрачає спроможність полюбити свій фах. В підсумку, будучи нахvatаним, згодом — в період скороспілої підготовки до екзамену, знання дістаються неглибокими і неміцними. Студент втрачає смак до навчання. Поступово він звикає до «троєчних» знань, не вірить в свої можливості.

Недобросовісний студент завдає шкоди не лише собі, але і товаришам. Він дезорганізує навчальний процес, відволікаючи сили викладачів на підтримку мінімального рівня знань у студентів. Адже лекція у самого кращого професора перестає бути творчим процесом, якщо він бачить в аудиторії осіб, що нудьгують, якщо він почуває, що його не розуміють. Тут уж не до творчості, донести б до такого студента хоча б лише азбучні знання. Самостійне систематичне навчання лекційного матеріалу не тільки відвертає всі ці неприємні наслідки. Воно сприяє виробленню у студента навиків роботи з книгою.

Як книга не замінить лекції, так і лекція не може замінити книги. Така заміна неможлива не лише тому, що на лекції викладається не весь програмний матеріал, але і тому, що на лекції студент працює разом з викладачем, а книгу вивчає — самостійно. При цьому конспект полегшує роботу із книгою. Проробляючи лекційний матеріал по книгам та користуючись конспектом, студент навчається правильно працювати з книгою. Таке вивчення розвиває творче мислення і перетворює студента з пасивного слухача лекції в активного учасника творчого лекційного процесу. Лекційна аудиторія, складена з активних студентів, підіймає творчий процес лектора, сприяє підвищенню лекційного процесу і всього навчального процесу в цілому. Самостійна робота

студентів включає багато складових. На старших курсах самостійна робота студентів завершується виконанням дипломного проекту.

Другим найважливішим складником самостійної роботи студентів є науково-дослідницька робота. Проведення наукового дослідження сприймається студентом як незвичайне та виняткове явище. Але достатньо побувати на конференціях студентського науково-технічного товариства, щоб переконатися в масовості та в доступності такого виду самостійної роботи студентів. Що стосується користі, принесеної студенту науково-дослідницькою роботою, то вона очевидна і для першокурсника.

Науково-дослідницька робота сприяє технічному зростанню. Особливо цінними одержуються ті роботи, що проводяться спільно з викладачами, під їх керівництвом по кафедральній тематиці науково-дослідницьких робіт, в студентських конструкторських бюро. Часто ці дослідження ведуться по замовленням.

Наукові дослідження можуть проводитися студентами в різноманітних формах. Звичайно, дослідження, які проводяться студентом, не відразу стають темою доповіді на конференції СНТТ. На перших порах він вивчає додаткову літературу по вибраній темі, робить перші непевні кроки в науці. Після цього приходять перші результати. Із ними росте і впевненість в своїх силах. При проведенні наукових досліджень студент навчається критично обдумувати прочитане, учиться ставити запитання та знаходити відповіді на них, опановує методикою проведення наукового експерименту і методикою математичного та чисельного аналізу з допомогою ПЕОМ.

Сучасний інститут залучає усіх студентів до наукових досліджень. Навчальними планами всіх фахів передбачається вивчення курсу «Основи наукових досліджень». Курс розпочинається невеликим циклом, що знайомить студентів з методологією та науковою роботою. Студенти виконують елементарні наукові дослідження в якості фрагментів лабораторних робіт, на навчальних практиках. Завершується курс виконанням і захистом самостійного наукового дослідження, тема якого визначається індивідуальним завданням кафедри.

Слід відмітити, що студентам, які успішно займаються науковими дослідженнями і відмінно встигають по всім предметам, деканатом може бути надане право навчатися по індивідуальному графіку. Самостійну роботу студенти планують самі. Щоб самостійна робота була успішною, студент повинен розумно розподілити свої заняття на всі дні семестру.

Трудова діяльність і суспільна робота студентів тісно пов'язані та невіддільні одна від одної. Риси інженера як всебічно підготовленого фахівця і гармонійно розвиненої особистості, як керівника колективу,

рисини інженера — суспільного діяча, інженера — організатора виробництва формуються і розвиваються в стінах інституту. В цьому процесі важливе місце належить трудовій діяльності студентів, що органічно входить у склад вузівського навчального процесу. Багаті форми суспільно-трудова діяльності студентів. Неможливо охопити всіх видів суспільних занять, що ставить перед студентами кипуче вузівське життя.

Насамперед, в навчальному процесі передбачені різноманітні виробничі практики. За підсумками роботи на практиках студенту в заліковій книжці виставляються відповідні оцінки.

Ці оцінки визначають місце студента в колективі, характеризують його суспільно-політичне обличчя, його особистість як людини та громадянина, як майбутнього фахівця. Основу цих оцінок з боку колективу складає суспільно-трудова діяльність студента, в яку входить і навчальна робота, і участь в трудових семестрах, та участь в суспільному житті.

3.5.Форми контролю знань студентів

Відсутність у вузі щотижневих оцінок (як це було в школі) зовсім не означає безконтрольності знань студентів. Це означає, що у вищій та середній школах подаються різні вимоги і до знань, що враховуються, і до засобів їх надбання. Кожний семестр в інституті завершується заліково-екзаменаційною сесією — зимовою та літньою. Сесія розпадається на дві частини. Перша частина — залікова сесія — проводиться на протязі одного тижня, коли ще ідуть заняття.

На другу частину — екзаменаційну сесію — відводиться три тижні. Тут починає діяти розклад екзаменаційної сесії, в якому виділяються спеціальні дні для підготовки до кожного іспиту. Їхню кількість встановлює деканат за погодженням зі студентами. Число цих днів — від трьох до п'яти — визначається складністю предметів і кількістю іспитів, винесених на сесію. За один семестр вивчається звичайно вісім–десять предметів, а на кожну сесію виноситься до шести заліків і до п'яти екзаменів. При цьому з деяких провідних дисциплін передбачається як залік, так і іспит.

Основним критерієм знань студента є екзаменаційна оцінка, що виставляється за чотирьохбальною системою («відмінно», «добре», «задовільно» і «незадовільно»). Загальне уявлення про критерії, по яким виставляються ці оцінки, студент має ще зі шкільних часів. Проте у вузі ці критерії мають і свої особливості.

Контроль знань в інституті і школі відрізняються щодо форми. Якісні ж розбіжності ще більш значні. Для того щоб отримати оцінку «відмінно», потрібно глибоко і тривко засвоїти програмний матеріал, вичерпно, послідовно, грамотно та логічно доладно його викласти, тісно ув'язавши теорію з практикою. При цьому студент повинен впоратись з відповіддю при видозміненні завдання, вільно вирішити задачі та відповісти на питання, показати знайомство з монографічною літературою, правильно приймати рішення, володіти різнобічними навиками і прийомами виконання практичних робіт.

Студент може отримати оцінку «добре», якщо він покаже тверді знання програмного матеріалу, грамотно та по суті викладе його. При відповіді такий студент повинен не припуститися істотних неточностей, правильно застосувати теорію при рішенні практичних задач і питань. Студент повинен показати володіння необхідними навиками і прийомами виконання практичних завдань.

Якщо студент знає тільки основний матеріал курсу, але не засвоїв його деталей, припускає неточності, недостатньо правильні формулювання, порушення послідовності в викладенні програмного матеріалу і зазнає скрути у виконанні практичних робіт, відповідь може отримати оцінку «задовільно».

Оцінка «незадовільно» виставляється студенту, що не знає значної частини програми, припускає істотні помилки, непевно, з великими затрудненнями виконує практичні роботи. На заліках по предмету або по його частині (наприклад, лабораторним роботам) результати відповідей оцінюються звичайно по двобальній системі — «зараховано» або «не зараховано».

Інколи проводиться так званий диференційований залік — з виставленням оцінки по чотирьохбальній системі (наприклад, з курсової роботи). При двобальній оцінці знань залік виставляється в тому випадку, якщо студент виконав в повному обсязі всі роботи, передбачені навчальною програмою і виявив розуміння цих робіт.

Студенти, що не склали заліків, передбачених навчальним планом, до іспитів не допускаються. Якщо врахувати, що для підготовки до заліків не виділяється спеціальних днів, то очевидні труднощі, з якими вже на заліковій сесії наштовхуються ті студенти, що не працюють систематично в течії семестру. Слід відзначити, що студенту, звичайно, надається можливість отримати залік з циклу лабораторних робіт «автоматично», без співбесіди з викладачем, якщо він вчасно захистив звіти по кожній з лабораторних робіт. Оцінка студентів лише по результатам заліково-екзаменаційної сесії зовсім не означає, що в вузі відсутній будь-який контроль знань студентів поздовж семестра. Адже і

за час практичних занять викладач неминуче виявляє рівень знань студентів. Оцінки викладача, що виставляються в ході занять, допомагають студенту виявити свої проблеми в знаннях та сприяють їхній ліквідації.

Рівень підготовки студентів виявляється і при перевірці їх готовності до проведення чергової лабораторної роботи. Якщо викладач виявляє не підготовленість до роботи, то студент до неї не допускається. Так виникають перші академічні заборгованості, що самі студенти метко називають «хвостами». Накопичення «хвостів» неминуче проявляється на сесії. У вузі офіційно введено атестацію (рубіжний контроль) знань студентів один або два рази протягом семестру, шляхом проведення контрольних робіт по основним розділам ведучих курсів або у вигляді поетапної перевірки ходу виконання курсових робіт, домашніх завдань та інших самостійних робіт студентів. У вузі поточний контроль знань не є критерієм оцінки їх успішності. Чому у цьому питанні вища школа настільки радикально відрізняється від середньої школи?

Для відповіді на це питання згадаємо спочатку шкільні роки. Школяру потрібно звичайно щодня готувати чотири-шість уроків по різним предметам. Характерною ж особливістю творчої інженерної діяльності, про яку говорилося вище, є цілеспрямований та неперестанний пошук вирішення поставленої задачі. Чим концентрованіше здійснюється цей пошук, тим успішніше отримуються результати. Студент повинен готуватися до інженерної діяльності такого роду. Тому студенту в вузі надається можливість цілеспрямованого вивчення, що концентрується в різноманітних предметах. При цьому усвоєння знань може бути творчим, вдумливим, а саме навчання стає більш ефективним.

Щоби студент зміг реалізувати означену можливість, в інституті запроваджена специфічна форма контролю занять у вигляді заліково-екзаменаційної сесії. Така форма виключає щоденний опит. Проте вузівські екзамени якісно відрізняються від тих знайомих іспитів. На екзамени студент повинен показати наскільки в рамках того або іншого предмету готовий до інженерної діяльності.

Інженер повинен знати та уміти творчо застосовувати свої знання. Тому на вузівських іспитах студент повинен показати, наскільки він розуміє вивчений матеріал, повинен продемонструвати, як він уміє використати свої знання, повинен проявити творчий підхід до предмету, повинен показати не стільки форму, скільки своє вміння мислити. І лише при повному дотриманні цих вимог студент може отримати відмінну оцінку.

3.6. Побут та відпочинок студентів

Успіх у навчанні визначається не тільки раціональною організацією занять, але і організацією побуту та відпочинку. Держава забезпечує студентів благоустроєними гуртожитками, столовими та буфетами, мережами студентських полікліник і спортивно-оздоровчих таборів, надає різноманітні пільги при користуванні санаторними путівками і суспільним транспортом, будує студентські клуби і спортивні комплекси. В багатьох вузівських центрах нині зведені або будуються студентські містечка, в яких створені усі умови для плідного навчання та відпочинку.

Ефективність цих державних заходів значно залежить і від самих студентів. Для студентів з інших міст гуртожиток стає другим будинком. Моральний клімат в цьому будинку залежить не лише від адміністрації. Щоб гуртожиток став для кожного студента другим будинком, самі студенти повинні навести та підтримувати в цьому будинку відповідний порядок. Щоб моральний клімат в цьому будинку сприяв успішному навчанню та сприяв приємному відпочинку, студенти самі повинні слідувати за дотриманням норм поведінки у стінах гуртожитка. Щоб самотійна робота та відпочинок в гуртожитку взагалі були б можливі, кожний студент повинен поважати інтереси своїх сусідів по будинку.

Треба особливу увагу звертати на харчування. Інколи повноцінний гарячий обід підміняють легким холодним сніданком. Забуває такий студент, що здоров'я, як і честь, слід берегти змолodu. Кожний студент повинен раціонально планувати не лише свою самотійну роботу і суспільно-трудову діяльність, але і свій відпочинок, керуючись при цьому народною мудрістю: справі — час, потісі — година. Проте суть такого планування полягає не тільки і не стільки в тому, щоб відвести певний час для відпочинку, скільки в тому, щоб зробити його і приємним, і корисним. Відпочинок — це не безділове і не бездумне проведення часу. Тому при плануванні вільного часу не слід забувати про читання книг і газет, про спілкування з природою та мистецтвом. Відпочивати слід активно. Інші заняття, що для професіонала є працею, можуть служити відпочинком для любителя. До них відносяться і заняття спортом, і технічна творчість. Наприклад, заняття радіоспортом або лаштування радіоприймача власної конструкції є для студента-електроніка прекрасною разрядкою в його повсякденних працях. Різнманітність праці — теж відпочинок.

Бібліотеки і читальні зали, палаци культури та студентські клуби, кіно та театри, філармонії та музеї, концерти і виставки — все можуть використати студенти для розумного відпочинку. Широке

розповсюдження отримали лекторії та клуби цікавих зустрічей, творчі семінари та дискусійні клуби, творчі конкурси і інтер-клуби, вечори поезії і молодіжні клуби. Студент, що не використовує можливості для відпочинку, духовно збіднює себе, позбавляє себе умов, сприятливих творчому зростанню. Проте чи не завадить все це навчанню? Чи тяжко, наприклад, студенту-спортсмену суміщати відмінне навчання з частими тренуваннями?

Розділ 4. Студент

4.1. Студент на лекції

Лекційні заняття передбачають відповідну підготовку не тільки лектора, але і студента. В поняття підготовленості студента входить багато компонентів.

По-перше, студент повинен бути фізично підготовлений. Якщо студент не виспався, не встиг позавтракати, то лекція для нього загублена.

По-друге, студент повинен психологічно бути готовий до сприйняття нового матеріалу лекції. Треба відволіктись від сторонніх думок, налаштуватись на вивчення матеріалу.

По-третє, студент повинен бути готовий до лекції в прямому значенні цього слова: він повинен до дзвінка, до приходу лектора сидіти на вибраному їм місці, підготувати ручку, олівець і зошит для конспектування.

Зауважимо, що лекція — це творчий процес. Їй протипоказані перешкоди, в тому числі вади у вигляді запізнившогося студента, який намагається проникнути в аудиторію, не перериваючи лектора, відволікає увагу частини студентів.

Якщо студент являється черговим, призначеним старостою групи на занятті, повинен готувати робоче місце лектора, щоби потім не бігти за крейдою посеред лекції.

В четвертих, головне: готовий до лекції студент — це студент, розуміючий лекцію. Лекція в інституті розрахована на підготовану аудиторію. Лектор викладає любе питання, орієнтуючись на ті знання, які повинні бути у студентів, що усвоїли матеріал попередніх лекцій. Якщо таких знань у студента немає, розуміти лекцію він не зможе, вона для нього буде нецікава і безрезультатна.

Щоби розуміти лекцію, студент повинен перш за все усвоїти термінологію, введену на попередніх заняттях. В протилежному випадку лекція перетворюється для студента в даремну розмову на незрозумілій мові. Ще гірші бувають наслідки, якщо студент неправильно зрозумів термінологію. Тоді він неправильно сприймає новий матеріал на лекції, йому прийдеється не довивчати, а перевивчити дисципліну, якщо іспит провалений.

Щоби розуміти лекцію, студент повинен засвоїти пройдені раніше правила і методи. Не виключено, що такий матеріал буде потрібен на черговій лекції. Не засвоївши їх, студент буди сприймати нові результати як непереконливі, незрозумілі та не цікаві.

Щоб розуміти лекцію, студент повинен знати властивості розглянутих раніше об'єктів, повинен розуміти всі особливості вивчених раніше явищ та процесів. Цими властивостями визначається як постановка нових задач на наступних лекціях, так і характер їх вирішення. Від цих властивостей та особливостей залежать характеристики більш складних об'єктів. Тому не зрозуміти нових задач та не розібратись в їх характеристиках тому студенту, котрий не підготувався до лекції.

Таким чином, щоб розуміти лекцію, студент повинен своєчасно вивчити матеріал попередніх лекцій. Як мінімум, вивчити термінологію, правила і методи, властивості об'єктів, особливості явищ та процесів. Таке вивчення потребує обов'язкової самостійної роботи студента. Корисно в мінімальному обсязі прочитати сторінки підручника, де викладено матеріал наступної лекції, тоді студент краще сприймає лекцію, працює творчо, у нього виникають цікаві питання до лектора, власні думки та оригінальні ідеї.

Таким чином, лекцію слухають підготовлені студенти. Слухати лекцію — це значить: зрозуміти сказане лектором, законспектувати лекцію, задати лектору по темі питання. Перша вимога головна, оскільки домашнє вивчення незрозумілого матеріалу не може бути таким же успішним як проробка зрозумілого. Такі студенти перетворюють лекцію із творчого процесу в тупу механічну роботу по переписуванню, надіючись отримати довідник для екзамена. Тоді студенти перетворюються в пасивних слухачів, не розвивають на лекції своє мислення.

Розглянемо основні вимоги до внутрішнього і зовнішнього оформлення конспекту, а також техніку конспектування.

Зовнішнє оформлення конспекту. Конспект повинен вестись по кожному предмету в окремому зошиті, розрахованому на один семестр. На конспекті слід вказати назву предмета, прізвище лектора, а також своє власне, факультет та номер академічної групи.

Внутрішнє оформлення конспекту. Перший аркуш в конспекті залишається вільним для списку літератури, який поповнюється по мірі вивчення предмета. Кожну книгу, яка використовувалась при вивченні лекційного матеріалу, слід занести в цей список і присвоїти свій номер. А в конспекті можна передбачити поля на кожній сторінці, куди потім заносяться пояснення при самостійній проробці матеріалу. Якщо використовується книга, то в дужках слід вказати не тільки її порядковий номер, але і номери сторінок. Це зекономить час студента при підготовці до екзамену.

Всі записи в конспекті повинні вестись в хронологічному порядку. Пропущена лекція повинна своєчасно бути законспектована по підручнику, або переписана у другого студента.

Техніка конспектування. При конспектуванні краще використовувати різноколірні пасти ручок. Це дозволяє яскраво виділяти основні місця, підкреслювати основні думки лектора, заголовки тем та розділів, що важливо при систематизації матеріалу.

При конспектуванні слід використовувати систему порядкової нумерації в конспекті. Нумерація проводиться в межах однієї лекції, тоді посилання до формул робиться записом відповідного номера лекції та формули.

Для прискорення конспектування слід користуватися системою скорочених записів. Існує три системи умовних скорочень та позначень:

- скорочення по початковим літерам слів — аббревіатурами ККД — коефіцієнт корисної дії; ЕРС — електрорушійна сила; АЧХ — амплітудно-частотна характеристика; АСР — автоматична система регулювання; САУ — система автоматичного управління; ПЕОМ — персональна обчислювальна машина;
- ряд слів можна умовно позначати математичними і другими символами типу $>$ (більше), $<$ (менше), \uparrow (збільшується), \downarrow (зменшується), Σ (сума), $^{\circ}$ градус Цельсія і т.ін;
- ряд слів і понять може замінятись різними буквами латинського або грецького алфавіту, котрі прийняті для позначення різних величин, наприклад: I, i (струм), U, u (напруга), t (час), T (період), Φ (фаза), φ (зсув фаз), F, f (частота), ω (кругова частота), X (вхід), Y (вихід), Ω (добротність), μ (магнітна проникливість).

Яким же повинен бути зміст конспекту? У відповідності з самим визначенням — короткий запис чого-небудь — при конспектуванні лекції не слід намагатися дослівно записати слова лектора. Дослівний запис не полегшує самостійну проробку матеріалу, а навпаки перешкоджає обдумуванню матеріалу, притупляє розум студента, заважає його творчому спілкуванню з лектором.

Перше правило конспектування: лекцію треба записувати не дослівно, не подрібно, а коротко. Це означає, що в конспекті повинні бути записані у вигляді тез лише основні положення лекції. В змісті конспекта можна виділити наступні складові частини: основні думки лектора, записи перенесені з дошки та власні думки студента. Основні думки лектора, наприклад при вирішенні задачі можуть бути представлені так: постановка задачі, роздуми по вибору метода її вирішення та висновки, які слідують із отриманого рішення. Рішення дається лектором, як правило, на дошці і повністю переноситься

студентом в конспект. У студента, творчо працюючого на лекції, з'являються сумніви, питання, оригінальні ідеї, які слід відобразити в конспекті.

Друге правило конспектування: записувати думки лектора треба після того як зрозумів їх зміст і смисл.

Третє правило конспектування: основні думки лектора бажано записувати своїми словами. Це розвиває мислення студента, допомагає грамотно викладати свої власні думки.

Однією із головних складових частин лекції являються питання студентів до лектора. Вони зміцнюють контакт лектора з аудиторією, підвищують творчий потенціал аудиторії, являються зворотнім зв'язком від студента до лектора. Це позитивно впливає на систему викладач – студенти. Питання одного студента стимулюють творчу роботу других студентів.

4.2.Студент на практичних заняттях

Іноколи можна почути на екзаменах фразу “Ми таких задач не вирішували”. Студент вимовляє це з деяким збуренням — не треба на екзамені пропонувати задачі, які на заняттях не проходили, на дім не задавали. Розглянемо це питання.

Словник визначає поняття задачі наступним чином: вправа, яка виконується, вирішується шляхом розумозаключень, обчислень і т.ін. Студент часто забуває про необхідність роботи розуму, мозку. На практичних заняттях по технічним дисциплінам в кращому випадку бездумно переказується підручник, цитуються чужі думки, виконуються обчислення, будується графік. Студент помилково рахує, що вирішення задачі повинно зводитись до підстановки у відомі формули в відомій послідовності заданих величин.

Що стосується вибору метода, розробки схеми вирішення задачі або аналізу фактів, отриманих результатів, то для цього і є на заняттях викладач. Свої дії такий студент вбачає в тому, щоби запам'ятати схему вирішення задачі та отримані висновки. Звідси і безпорадність студента перед задачами, котрі “не вирішували”.

Як же бажано працювати на практичних заняттях? Багато з того, що виказано про роботу на лекції відноситься і до практичних занять. Долюбих занять студент повинен готуватись, на заняттях працювати вдумливо, ініціативно, творчо, задавати питання викладачеві.

Підготовка до заняття включає дві частини. Перша включає вирішення задач, які задані як домашнє завдання, їх аналіз і, головне, самоконтроль засвоєння теми попереднього заняття. В ході

самоконтролю студент повинен переконатись, по-перше, в свідомості своїх дій при вирішенні задачі. По-друге, продивившись і незадані задачі з пройденої теми, він повинен переконатись, що зможе самостійно вирішити ці задачі. По-третє, треба записати питання, котрі залишились невиясненими при аналізі і вирішенні задач. Ці питання треба задати викладачеві на консультаціях, або наступних заняттях.

Друга частина підготовки до практичного заняття включає вивчення матеріалу для наступного заняття. Вона включає поглиблене вивчення теоретичного матеріалу по відповідній темі, вибір розрахункових співвідношень і підготовку питань з нової теми. Поглиблене вивчення матеріалу означає, що студент повинен не тільки усвідомити і зрозуміти матеріал, але і самостійно з олівцем в руках доказати всі положення теорії. При такому вивченні слід виявити прикладні питання теорії, які можуть знадобитися при вирішенні задач, особливо їх обмірковувати та, знову таки, самостійно вивести всі розрахункові співвідношення. Самостійні докази та висновки являються прекрасним тренуванням і першим кроком для самостійного вирішення задач. Цей перший крок оволодіння дослідницькими навиками розвиває в подальшому творчу діяльність студента.

Вибірка розрахункових співвідношень означає, що студент повинен відібрати всі модифікації розрахункових формул, кількісні співвідношення та інший розрахунковий матеріал, котрий зустрівся йому при вивченні теорії. Всі розрахункові співвідношення слід записати в зошит для практичних робіт. Це допомагає систематизації матеріалу, полегшує розробку схеми вирішення задачі.

Як же треба самостійно вирішувати задачу? У вирішенні технічної задачі слід виділити три етапи: обміркування задачі, її вирішення в загальному вигляді та отримання чисельного результату. Тому неправильно поступають студенти, які намагаються вирішити задачу “наскоком”, шукаючи формули, по яким можна обчислити шукані величини. Таким чином, вони починають вирішення задачі зразу з другого етапу. Але таким способом можна вирішити лише тривіальні задачі. Сформулюємо загальні рекомендації рішення інженерної задачі.

1. Етап осмислення задачі треба починати з зображення функціональної, принципової або конструктивної схеми пристрою. Аналізується необхідність її доповнення, позначаються величини, які входять в умову задачі.
2. Слід перевірити чи задовольняє зображена схема (графік) всім умовам задачі. При перевірці можливе уточнення схеми.
3. Треба для себе уявити призначення та взаємодію елементів в намальованій схемі.

4. Треба дати визначення всіх величин, входячих в умови задачі, в першу чергу шуканої величини.
5. Якщо у вказане визначення входять нові величини, яких немає в умові задачі, ці величини треба позначити на графіку і дати визначення.
6. Слід визначити, яким теоретичним законам або правилам підлягають ті чи інші величини. Для цього можна використати підбірку розрахункових співвідношень.
7. Слід в'яснити логічні зв'язки поміж шуканими та заданими величинами.
8. Завершуючи осмислення задачі, слід виявити ті чи інші межі, будь які умови та інші вимоги.

Рішення в загальному вигляді заключається у виборі методу рішення і складання схеми вирішення задачі. Успіх у виборі раціонального методу вирішення задачі визначається рівнем знань студента, його ініціативністю, а також повнотою осмислення задачі на першому етапі її вирішення. Значну допомогу дає підбірка розрахункових формул. При вирішенні задачі в загальному вигляді можна виконати часткову перевірку правильності рішення, перевібивши розмірності величин.

При отриманні чисельного результату слід звернути увагу на вибір одиниць вимірювання та необхідну точність розрахунків, розуміючи що точність виготовлення компонентів, як правило, коливається від 1% до 20%.

Рішення задачі необхідно закінчити аналізом отриманого рішення, його відповідності теоретичним засадам.

4.3. Студент в лабораторії

На лабораторних заняттях майбутній фахівець починає активно спілкуватись з технікою, без якої немає інженерної справи. Інженер повинен вміти працювати не тільки головою, але і руками.

Підготовка до роботи в лабораторії розпочинається з домашньої підготовки. Лабораторні дослідження являються прообразом майбутніх наукових експериментів, з якими прийдеться мати справу фахівцю в його практичній діяльності.

Домашня підготовка включає ряд етапів.

- 1) По інструкції треба ознайомитись зі змістом лабораторної роботи. Треба уяснити мету та обсяг експерименту, виділити теоретичні положення, знання котрих необхідні як для виконання

лабораторної роботи, так і осмислення результатів лабораторних спостережень.

- 2) Користуючись лекційним конспектом та книгами слід вивчити питання теорії, які віносяться до лабораторного експерименту. При цьому слід звернути увагу на ті припущення і спрощення, які були прийняті при теоретичному розгляді питання. Це дає змогу зрозуміти можливі розходження результатів теорії та експерименту.
- 3) Слід продумати умови проведення лабораторного експерименту у відповідності з його описом.
- 4) Слід детально вивчити схему лабораторної установки, звернути увагу на вимірювальні прилади, правила їх використання, продумати послідовність збирання схеми.
- 5) В лабораторних експериментах використовується досить складна апаратура (генератори стандартних сигналів, цифрові вольтметри, осцилографи і т.ін.). Спілкування з такою апаратурою можливе тільки при наявності певних навиків та знань. Тому до початку роботи треба в загальних рисах мати уявлення про правила роботи з ними.
- 6) Слід продумати методику лабораторного експерименту, звернути увагу на послідовність операцій і спостережень, необхідність фіксації результатів.
- 7) Студенту в думках треба “програти” лабораторний експеримент з початку до кінця.
- 8) Підготовка завершується заготовкою бланка лабораторного звіту, та питань, які треба вияснити.

При проведенні лабораторної роботи слід дотримуватися певних правил.

1. Приступаючи до роботи в складі бригади обговоріть мету та зміст експерименту.
2. Установку слід збирати колективно, отримати у викладача дозвіл на її включення.
3. До включення треба колективно програти експеримент.
4. Між членами бригади треба розподілити обв'язки, щоби всі активно працювали.
5. Протокол лабораторного експерименту слід вести начисто.
6. Обробку результатів експерименту проводять до його закінчення.
7. Результати експерименту слід обговорити колективно.
8. Звіт по виконаній лабораторній роботі завершується написанням висновків.

Лабораторна робота являється учбовою вправою. Але навчившись критично відноситись до теорії, її порівняння з результатами експерименту, складаються умови для уточнення в майбутньому як методики експерименту, так і, можливо, самої теорії. Критичне відношення розвиває мислення, виробляє творчі задатки майбутнього фахівця, основи нестандартного підходу до вирішення інженерних задач.

4.4.Самостійна робота студента

Самостійна робота студента включає систематичну проробку лекційного матеріалу, виконання учбових завдань, підготовку до чергових аудиторних занять, наукових досліджень. Самостійна робота необхідна для придбання звичок самостійного поповнення знань, уміння працювати з книгою, розвитку мислення та свого творчого потенціалу. Такі складні питання можуть бути вирішені тільки при раціональній організації і чіткому плануванні позааудиторної роботи та при дотриманні правил гігієни розумової праці. Для середнього студента потрібно біля 4 годин самостійної роботи кожного дня. На кожен день бажано планувати вивчення одного з предметів. Формальне заучення матеріалу без його осмислення приводить до нехватки часу, притупляє мислення та протирічить цілям вищої освіти. В ході правильно організованої самостійної роботи студент працює з конспектом, книжкою. Для цього спочатку бігло вивчається матеріал, щоб мати уявлення про прочитане, а потім в деталях осмислюється зміст з олівцем в руках, робляться нотатки. Самостійна робота студента — це важка робота його мислення.

В студентському фольклорі особливо часто обігрується екзаменаційна сесія. В більшості випадків треба скласти дев'ять екзаменаційних сесій для допуску до дипломування і отримання кваліфікації фахівця. А це 40–45 екзаменів, які треба успішно скласти. Іронічно, їдко, але безумовно весело, жартують студенти з приводу важких екзаменів.

Звичайно не до сміху тим студентам, котрі погано працювали на протязі семестру. Такі студенти надіються на хорошу шпаргалку. За такими студентами тягнуться і ті, які регулярно працювали, але знаходяться в полоні екзаменаційних страхів, перебільшуючи труднощі екзаменаційної пори. Але біда в тому, що страхи при цьому може і зменшуються, та знання не збільшуються, розум не розвивається, та і доброї оцінки у хорошого екзаменатора по шпаргалці не отримаєш.

Студент, який добросовісно виконує учбову програму і правильно організує самостійну роботу готується до екзамену з першого дня семестру. Для студента 3–4 дні, які відведені для підготовки до екзамена, являються днями для систематизації та поглиблення своїх знань, днями важкої, але захоплюючої роботи думки.

Підготовка складається із повторення курсу перед екзаменом та підготовки відповіді безпосередньо на самому екзамені. Повторення кожної теми проводиться в три етапи. Спочатку треба відродити в пам'яті зміст теми по конспекту. Це можна виконати в невеликому мікроколективі, користуючись декількома конспектами. Потім кожному студенту треба самостійно поглиблено проробити тему з залученням підручників, які вказані на полях конспекту. Незрозумілі питання треба прояснити з співкурсниками, а краще на консультації перед екзаменом. Завершення повторення теми треба виконувати з олівцем та аркушем паперу в руках, складаючи нотатки, щось на зразок шпаргалки, яка в більшості випадків має психологічне значення, як правило, так і не використовується студентом.

Остання ніч перед екзаменом не може використовуватись студентом для підготовки. Для того, щоби успішно скласти екзамен, треба трохи відпочити, закінчивши підготовку ввечері.

Розділ 5. Основні терміни та поняття електронних систем

5.1. Фундаментальні поняття електроніки

Система одиниць. В основі Міжнародної системи фізичних одиниць лежать слідуєчі 7 незалежних одиниць (приведені: назва, одиниця, позначення):

сила струму (ампер) А; **довжина** (метр) м; **сила світла** (кандела) кд; **маса** (кілограм) кг; **температура** (градус Кельвіна) К; **час** (секунда) с; **кількість речовини** (моль) моль.

Інші одиниці являються залежними і отримуються комбінацією вищеназваних. В електроніці поширені такі фізичні одиниці (приведені: назва, одиниця, позначення, зв'язок з незалежними одиницями):

ємність (фарад) Ф (А·с/В); **заряд** (кулон) Кл (А·с); **енергія** (джоуль) Дж (Н·м); **сила** (ньютон) Н (кг·м/с); **частота** (герц) Гц (1/с); **освітленість** (люкс) лк (лм/м²); **індуктивність** (генрі) Гн (В·с/А); **світловий потік** (люмен) лм (кд·с); **магнітний потік** (вебер) Вб (В·с); **щільність магнітного потоку** (тесла) Тл (Вб/м²); **потенціал** (вольт) В (Вт/А); **потужність** (ват) Вт (Дж/с); **опір** (ом) Ом (В/А).

Множники. На практиці використовуються величини, які кратні фундаментальним одиницям величин (наведені: приставка, позначення, множник): тера Т (1 000 000 000 000); гіга Г (1 000 000 000); мега М (1 000 000); кіло к (1 000); санти с (0,01); мілі м (0,001); мікро мк (0,000 001); нано н (0, 000 000 001); піко п (0, 000 000 001).

Вимірювання кутів. Використовують дві міри градусну та радіанну. Радіан це кут між двома радіусами круга які вирізають дугу, довжина якої дорівнює радіусу. Тоді 1 рад=360/6,28=57,3°.

Провідники та ізолятори. В металах електричний струм являє собою упорядкований рух вільних електронів. Матеріали, в яких багато вільних електронів, легко пропускають їх направлений потік, називають провідниками. В таблиці 5.1 наведені основні характеристики провідників. Матеріали, в котрих мало або їх зовсім немає називаються ізоляторами (таблиця 5.2). Прикладами хороших провідників являються такі метали як мідь, алюміній, золото, срібло. В електротехніці використовуються константан, ніхром, вольфрам. Різноманітні пластмаси та керамічні матеріали являються хорошими ізоляторами як: бакеліт, скло, поліестер, поліетилен, поліпропілен, порселен, тефлон.

Таблиця 5.1. Властивості металічних провідників [3]

Матеріал	Питомий опір, Ом м	Температурний коефіцієнт опору (20 °C)	Тепло-провідність	Температура плавлення °C
Алюміній	$2,7 \times 10(E-8)$	$4 \times 10(E-3)$	0,48	660
Латунь	$7,2 \times 10(E-8)$	$2 \times 10(E-3)$	0,26	920
Константан	$4,9 \times 10(E-7)$	$1 \times 10(E-5)$	0,054	1210
Мідь	$1,6 \times 10(E-8)$	$4,3 \times 10(E-3)$	0,918	1083
Золото	$2,3 \times 10(E-8)$	$3,4 \times 10(E-3)$	0,705	1063
Залізо	$9,1 \times 10(E-8)$	$6 \times 10(E-3)$	0,18	1535
Свинець	$2 \times 10(E-7)$	$4,2 \times 10(E-3)$	0,083	327
Ніхром	$1 \times 10(E-6)$	$1,7 \times 10(E-4)$	0,035	1350
Нікель	$1 \times 10(E-7)$	$4,7 \times 10(E-3)$	0,142	1452
Серебро	$1,5 \times 10(E-8)$	$4 \times 10(E-3)$	1,006	960,5
Олово	$1,3 \times 10(E-7)$	$4,2 \times 10(E-3)$	0,155	231,9
Вольфрам	$5,4 \times 10(E-8)$	$4,5 \times 10(E-3)$	0,476	3370

Таблиця 5.2. Властивості ізоляторів [3]

Матеріал	Питомий опір Ом м	Діелектрична постійна (100 Гц–100 МГц)	Напруга пробою кВ/мм	Максимальна робоча температура
Бакеліт	10(E10)	4,4–5,4	11,8	100
Скло	10(E12)	4,8	13,2	600
Поліестер	10(E13)	2,8–3,7	27,6	105
Поліетилен	10(E14)	2,2	23	60
Поліпропілен	10(E14)	2	23,6	100
Порселен	10(E13)	5,1–5,9	11,8	1000
Тефлон	$2 \times 10(E16)$	2,1	11,0	200

Електричний струм, напруга, опір. Здатність джерела енергії забезпечувати задане значення електричного струму в провіднику, визначається його електрорушійною силою (Е.Р.С.). Якщо ЕРС діє на ділянці ланцюга, то виникає різниця потенціалів, яка вимірюється в вольтах (В). Різниця потенціалів з'являється на кожній ділянці замкнутого ланцюга при протіканні електричного струму. Сила струму прямо пропорційна діючій ЕРС. Сила струму також залежить від фізичних характеристик провідників (його довжини, площі поперечного

перетину) та матеріалу, з якого його виготовлено. Сила струму в провіднику обернено пропорційна його опорю.

Закон Ома. При постійній температурі відношення різниці потенціалів на кінцях провідника до сили протікаючого в ньому струму є величина постійна. Вона називається опором електричному струмові. Якщо електричне коло включає джерело живлення та навантаження, треба враховувати падіння напруги в джерелі живлення. Тому ЕРС джерела більша від напруги на вихідних зажимах джерела на величину падіння напруги на внутрішньому опорі джерела живлення.

Енергія, робота, потужність. Енергія — це робота, виконана за певний час. Одиниця енергії джоуль. Потужність — це виділена за 1 с енергія електричного струму і дорівнює добутку струму на напругу. Одиниця потужності ват — це добуток 1А на 1В.

Постійний та змінний струм. Постійним називається струм, що не змінює свого напрямку за розглянений інтервал часу. При цьому його амплітуда може суттєво змінюватись. Постійний струм тече від крапки з більш позитивним потенціалом до крапки з більш негативним потенціалом. Замітимо, що електрони в провіднику рухаються в протилежному напрямку. Постійний струм є наслідком дії постійної ЕРС. Постійний струм однонаправлений, а змінний струм двонаправлений. Він спочатку тече в одному напрямку, а потім — в протилежному. Змінний струм обумовлений змінною ЕРС.

Змінні струми зумовлюють змінну різницю потенціалів (змінну напругу на елементах електричного кола). Змінна складова напруги або струму додається до постійної складової. В результаті відповідна крива може бути уніполярною або біполярною, але завжди вона асиметрична.

Форми імпульсів напруги або струму. В електронній техніці використовуються сигнали, які змінюються в часі по різним законам. Це можуть бути синусоїда, симетричний прямокутний сигнал — меандр, трикутний сигнал, пілкоподібний, нерегулярна послідовність прямокутних імпульсів. Такі сигнали можуть бути тільки позитивними, тільки негативними, або змінними, повторюючимися або неповторюючимися. При відтворенні звука сигнал як правило складається із набору декількох синусоїд, маючих різноманітну частоту. При їх складанні отримується сигнал складної форми.

Частота та період коливаний. Частотою повторюючихся сигналів називається кількість закінчених його циклів, за одиницю часу. Одиниця виміру частоти — герц (Гц). Якщо один повний цикл зміни сигналу виконується в продовж 1 с, то кажуть, що цей сигнал має частоту 1 Гц. Якщо в продовж 1 с виникає 50 циклів сигналу, тоді він має частоту 50 Гц. Періодом сигналу називається час проходження одного повного

циклу. Період величина обернена частоті. Наприклад, частоти коливань (1, 10, 100) Гц мають відповідні періоди коливань (1; 0,1; 0,01) с, а частоти (1, 10, 100) кГц мають періоди (1000; 100; 10) мс.

Середнє, пікове, діюче значення електричного сигналу. Крива напруги, струму або потужності, що періодично змінюється, характеризується наступними трьома величинами:

- амплітудною (піковою) напругою за період або значенням пік-пік;
- середнім значенням напруги, яке у випадку симетричної відносно осі часу кривої обчислюється за половину періода;
- середньо-квадратичним або діючим (ефективним) значенням напруги.

Діюче значення змінного струму напруги чисельно дорівнює такому постійному струму або напрузі, яке за один період виділяє в опорі таку ж кількість тепла як і змінний струм. Якщо крива, що розглядається, не синусоїдальна, але може бути представлена як сума декількох синусоїдальних складових, які мають різні частоти, то квадрат діючого значення є сума квадратів діючих значень складових синусоїд. Якщо одне із значень синусоїдальної кривої прийняти за одиницю, то всі останні значення можна вирахувати з допомогою перевідних коефіцієнтів. Середнє/амплітудне=0,636. (Пік-пік)/амплітудне=2. Діюче/амплітудне=0,707.

Зауваження. При розрахунку струмів, напруг, опору рідко вимагається виконання розрахунків з точністю краще ніж 1%, так як допуски на значення компонентів гірше ніж 1%. Якщо в формулу закону Ома ви підставите опір в кілоомах, а струмів в міліамперах (або мегаомах та мікроамперах), то напругу отримаєте в вольтах В.

При перемноженні двох чисел, кожне із яких зводиться в деяку ступінь, отримується добуток чисел, але ступінь дорівнює сумі ступеней співмножників. При діленні двох чисел, кожне з яких зведено в деяку ступінь, отримується число, яке має ступінь рівний різниці ступенів ділимого та дільника. При обчисленнях краще використовувати цілі, а не дробні числа, розрахунки виконувати на калькуляторі.

5.2. Основні терміни електронних систем управління

Основні поняття теорії систем керування систематизовані по таким розділам: основні поняття; об'єкти управління; впливи та сигнали; види управлінь; принципи управлінь; управляючі об'єкти; системи управління; типові закони управління; елементи систем управління; структури систем управління; стан та характеристики систем управління та їх елементів; властивості систем управління та їх елементів [4].

Основні поняття теорії систем

Об'єкт управління (controlled object, controllable object) — в якому для досягнення бажаних результатів функціонування якого необхідні та допустимі спеціально організовані впливи.

Мета управління (control aim) — значення, співвідношення значень координат процесів в об'єкті керування, при яких забезпечується досягнення бажаних результатів функціонування об'єкта.

Керуючий вплив (controlling action) — на об'єкт управління, призначений для досягнення мети управління.

Управління (control) — процес відпрацювання та здійснення керуючих впливів.

Управляючий об'єкт (controlling object) — призначений для втілення управління.

Система управління (control system) — яка складена із управляючого об'єкта та об'єкта керування.

Структура системи управління (control system structure) — сукупність та характер зв'язків та співвідношень поміж елементами системи керування.

Управляюча координата (controlling coordinate) — координата управляючого впливу.

Керована координата (controlled coordinate) — координата об'єкта управління, значення якої залежить від керуючих впливів та показує ступінь досягнення мети керування.

Збурення (disturbance) — зовнішній вплив, порушуючий досягнення мети управління.

Задаючий вплив (setting action) — на управляючий об'єкт, призначений для зміни мети управління.

Зворотній зв'язок (feedback) — залежність впливів на об'єкт від його стану, обумовленого попереднім впливом на цей же об'єкт.

Закон управління (control action, control law) — математична форма перетворення задаючих впливів, збурень, впливів зворотнього зв'язку, визначаючих керуючі впливи.

Алгоритм управління (control algorithm) — визначає керування в реальному часі.

Об'єкти управління

Зосереджений об'єкт управління (lumped controlled object) — в якому відстань між елементами не суттєва для організації системи керування.

Розосереджені об'єкти керування (distributed controlled object) — коли відстані поміж підсистемами суттєві для організації керування.

Лінійний об'єкт (linear controlled object) — коли в математичній моделі всі залежності являються лінійними функціями.

Нелінійний об'єкт (nonlinear controlled object) — модель утримує хоча б одну залежність, яка не може бути описана лінійною функцією.

Об'єкт управління з зосередженими параметрами (lumped-parameters controlled object) — коли математична модель функціонування не включає диференціальні рівняння з частинними похідними.

Об'єкт управління з розосередженими параметрами (distributed-parameters controlled object) — де математична модель включає хоча б одно диференційне рівняння в частинних похідних.

Аналоговий об'єкт управління (analogue controlled object) — в математичній моделі функціонування якого всі координати можуть прийматилюбі значення в деякому діапазоні безперервної шкали.

Дискретний об'єкт управління (discrete controlled object) — в математичній моделі функціонування всі координати можуть приймати тільки кінцеве число значень.

Детермінований об'єкт управління (determined controlled object) — коли в математичній моделі функціонування якого керовані координати однозначно залежать від інших координат.

Стохастичний об'єкт управління (stochastic controlled object) — де є хоча б одна ймовірна залежність.

Стаціонарний (stationary) — де стохастичні характеристики не залежать від часу.

Нестационарний (non-stationary) — де ймовірні характеристики залежать від часу.

Інерційний (inertial) — де керовані координати відстають в часі від викликаних їх управляючих координат.

Об'єкт управління з чистим запізненням (controlled object with pure time-lag) — де керовані координати повторюють викликані їх зміни управляючих координат із зсувом в часі.

Впливи та сигнали

Вхідний, вихідний, внутрішній та зовнішній впливи (input, output, internal, external actions) — відповідно: прикладені до входу, направлені з виходу, впливи одного елемента на другий та зовнішньої середи на систему управління.

Головний признак та параметр впливу (main feature and parametr of the action) — відповідно признак та параметр впливу якісно характеризуючий вплив других об'єктів на даний об'єкт.

Впливи зворотнього зв'язку (feedback action), уставки, настройки, відхилення.

Аналоговий вплив (analogue action) — значення визначені в безперервній шкалі.

Дискретний вплив (discrete action) — значення визначені в ступінчастій шкалі.

Двоїчний вплив (binary action, on-off action) — визначається в двохрівневій шкалі.

Кодовий вплив (coded action) — дискретний багатопараметричний вплив, шкала станів якого представлена словами певного кода.

Числовий вплив (numerical action) — шкала станів визначена словами числового кода.

Часоімпульсний вплив (impulse-time action) — одноімпульсний вплив, головним признаком якого є тривалість імпульсу.

Амплітудно-імпульсний вплив (impulse-amplitude action) — одноімпульсний вплив, головним признаком якого є амплітуда імпульсу.

Широтноімпульсний вплив (impulse relative time action) — багатоімпульсний вплив, головним параметром якого є відношення тривалості одного імпульсу признаку впливу до тривалості другого імпульсу або тривалості інтервалу часу поміж цими імпульсами.

Числоімпульсний вплив (impulse-number action) — багатоімпульсний вплив, головним параметром якого є число імпульсів на заданому інтервалі часу.

Кодоімпульсний вплив (impulse-code action) — імпульсний вплив, головним параметром якого являється сукупність признаков імпульсів, яка упорядочена згідно визначеному коду.

Періодичний вплив (periodic action) — зміни признаку описуються періодичною функцією.

Сигнал (signal) — сукупність несучого впливу та інформації, що передається.

Перешкода (distorting action, noise) — вплив, який визиває порушення відповідності значень сигналу та інформації, що передається.

Елементи систем управління

В недалекому минулому функціональні елементи з тими чи іншими алгоритмами перетворення вхідних сигналів у вихідні втілювались в фізичні пристрої переважно апаратурними засобами. Цим апаратурним засобам давались такі ж назви, що і функціональним, тому не виникало потреби для введення поняття технічний елемент. Однак, на сучасному етапі розвитку техніки ми зтикаємось з тим, що вказана адекватність понять порушується. В одному технічному елементі (наприклад, великій інтегральній схемі) може бути втілена множина різних функціональних елементів. При розробці таких складних

елементів проектування починають з їх розробки як системи на мові функціональних елементів та функціональної структури. Деякі складні технічні елементи не мають навіть сталої назви на відміну від функціональних.

Конкретним видам функціональних елементів дають назви, відображаючи види функцій, що реалізуються. Наприклад, в аналоговій схемотехніці застосовують терміни операційний підсилювач, суматор, інтегратор, селектор сигналів і т.ін. В цифровій схемотехніці — процесор, комутатор, шифратор, оперативна пам'ять. Типізація методів та засобів конструктивного оформлення елементів та пристроїв керування привели до запровадження таких термінів: блок, прилад, плата, модуль, стойка, пульт. Розглянемо основні елементи електронних систем.

Функціональний елемент (functional element) — представляє окрему функцію керуючого об'єкта або об'єкта керування.

Алгоритмічний елемент (algorithmic element) — виконує функції управляючого об'єкта або об'єкта керування.

Технічний елемент (engineering element) — речовий засіб реалізації одного або декількох алгоритмічних елементів.

Конструктивний елемент (design element) — конструктивно закінчений елемент, виконаний з урахуванням заданих умов експлуатації, технічного обслуговування, енергетичного живлення, просторового розміщення.

Перетворювач впливу (transducer) — перетворює вхідні сигнали одного виду в вихідні впливи другого.

Первинний перетворювач (primery transducer) — на вхід якого поступає вплив від об'єкту керування або зовнішнього середовища, а вихідні сигнали подаються на управляючий об'єкт.

Датчик (sensor) — первинний перетворювач, в якому змінюються значення вихідного впливу або сигналу і з заданою точністю відповідають змінам значень вхідного впливу або сигналу.

Сигналізатор (threshold sensor) — первинний перетворювач, в якому зміни значень вихідного впливу проходять дискретно, коли значення вхідного впливу досягає заданих значень.

Вимірюючий елемент (measuring element) — виконує функції вимірювання.

Виконавчий орган (final controlling element) — призначений для відтворення керуючих впливів.

Порівняльний елемент (comparing element) — перетворювач з двома входами, значення вихідного впливу якого визначається відміною значень вхідних впливів та сигналів.

Відображаючий елемент (information displaying element, display) — призначений для представлення інформації людині-оператору.

Структури систем керування

Функціональна, алгоритмічна, технічна та конструктивна структури системи (functional, algorithmic, engineering, design structure of the systems) — сукупність відповідно функціональних, алгоритмічних, технічних або конструктивних елементів.

Вхід (input) — частина об'єкта призначена для прийому впливів іззовні.

Вихід (output) — частина об'єкта призначена для видачі впливів зовні.

Прямий ланцюг (direct circuit) — упорядкована у відповідності з напрямком передачі впливів сукупність елементів системи керування, через які передаються впливи від деякого входу системи до її виходу.

Ланцюг зворотнього зв'язку (feedback circuit) — сукупність упорядкованих елементів, через які передаються сигнали з виходу прямого ланцюга на його вхід.

Коректуючий ланцюг (correction circuit) — призначений для забезпечення необхідної якості управління.

Контур управління (control loop) — замкнутий ланцюг елементів системи керування, створений ділянками прямого ланцюга та ланцюга зворотнього зв'язку.

Каскадна система управління (cascaded control system) — багатоконтурна система управління, в якій вихідний вплив одного контура є впливом уставки для другого вкладеного контура управління.

Стани та характеристики систем управління та їх елементів

Вхідний, внутрішній, вихідний, повний стани (input, internal, output, complete state) — визначається значеннями відповідно вхідних, внутрішніх, вихідних координат.

Стійкий, нестійкий стани (stable, unstable state) — зміни внутрішнього, вихідного або повного станів об'єкта можливі відповідно шляхом зміни значень вхідних координат та без зміни.

Початковий, кінцевий стани (initial, final state) — в мить часу прийняту за початкову, кінцеву для розглядуваного процесу.

Усталений режим функціонування (steady-state object) — коли вибрані характеристики вихідного стану цього об'єкта в продовж певного досить великого проміжку часу змінюються в дуже малому діапазоні.

Перехідний режим (transient object operation mode) — відповідає переходу об'єкта з одного усталеного режиму до іншого.

Незбурений процес (non-disturbed process) — який протікає при відсутності задаючих впливів.

Збурений процес (disturbed process) — протікає при одночасному впливі задаючих впливів та збурень або зразу після них.

Статична характеристика (steady-state characteristic) — залежність значень вхідних та вихідних координат в усталеному режимі.

Зона насичення (saturation zone) — частина статичної характеристики об'єкта, яка відповідає обмеженому з одного боку діапазону зміни його вхідних координат, в якому значення вихідних координат майже не змінюються.

Зона нечутливості (dead band) — частина статичної характеристики об'єкта, відповідна обмеженому діапазону зміни його вхідних координат, в яких значення вихідних координат майже не змінюється.

Комплексний коефіцієнт перетворення (complex gain) — представлене комплексним числом відношення синусоїдально змінюючихся в часі значень вихідної координати об'єкта до синусоїдально змінюючихся з тією ж частотою значень вхідної координати, відображаючих співвідношення їх амплітуд та зсув фаз в усталеному режимі функціонування.

Коефіцієнт інтегруючого перетворення (integration gain) — відношення швидкості приросту вихідної координати об'єкта до приросту його вхідної координати.

Коефіцієнт диференціюючого перетворення (differentiation gain) — відношення вихідної координати до швидкості зміни вхідної.

Динамічна характеристика (dynamic characteristic) — залежність значень вихідних координат об'єкта від значень вхідних, отриманих в перехідному режимі його функціонування.

Часова характеристика (time characteristic) — зміна в часі вихідної координати при заданій зміні вхідної.

Перехідна характеристика (step response) — часова характеристика лінійного об'єкта, знаходячогося в усталеному режимі функціонування, яка отримана при одиничному скачці вхідної координати.

Імпульсна характеристика (impulse response) — часова характеристика лінійного об'єкта, знаходячогося в усталеному режимі функціонування, отриманому при одиничному імпульсі вхідної координати.

Передаточна функція (transfer function) — відношення перетворень по Лапласу аналітичної залежності вихідної координати лінійного об'єкту до так же перетвореної вхідної координати при нульових початкових умовах.

Частотна передаточна функція (frequency response) — залежність комплексного коефіцієнта перетворення від частоти.

Амплітудно-фазова характеристика (frequency response locus) — значення частотної передаточної функції при заданих частотах зміни вхідної координати на комплексній площині.

Частотна характеристика (frequency characteristic) — залежність параметрів синусоїдальних коливань вихідної координати лінійного об'єкту від параметрів синусоїдальних коливань вхідної координати для усталених режимів функціонування.

Перемикаюча функція (switching function) — залежність значень вихідної координати комбінаційного дискретного об'єкта від значень вхідних координат.

Функція переходів (transition function) — залежність значень внутрішніх координат послідовного дискретного об'єкта від значень його вхідних та внутрішніх координат.

Час регулювання (settling time) — інтервал часу з моменту подачі типового впливу на вхід об'єкта до моменту входу значень вихідної координати в заданий діапазон значень в усталеному режимі.

Час запізнення (dead time) — часовий інтервал поміж миттю початку зміни значень вхідної координати та визваним ним початком зміни вихідної координати.

Властивості систем управління та їх елементів

Спостережність стану (observability) — властивість об'єкту, яка заключається в можливості оцінки значень координат, визначаючих стан цього об'єкта по виміряним значенням координат в умовах заданих обмежень.

Ідентифікованість (identifiability) — заключається в можливості оцінки значень параметрів його математичної моделі в умовах заданих обмежень.

Керованість (controllability) — існують керуючі впливи, які спроможні забезпечити досягнення мети управління в умовах заданих обмежень.

Досягненість мети управління (attainability of the control aim) — властивість об'єкта в можливості досягнення мети управління при заданих керуючих впливах в умовах заданих обмежень.

Стійкість по Ляпунову (Lyapunovs stability) — властивість об'єкта зберігати малими відхилення значень координат збуреного процесу після дії збурення від значень тих же координат незбуреного процесу.

Надійність (reliability) — властивість об'єкта, яка заключається в здібності зберігати в часі в установлених межах значення признаков та параметрів, характеризуючих ті якості об'єкта, які визначають його спроможність виконувати потрібні функції функціонування.

Живучість (survivability) — властивість об'єкта, яка заключається в спроможності виконувати хоча б установлений мінімальний обсяг своїх функцій при зовнішніх впливах не передбачених умовами нормальної експлуатації.

Безпечність (safety) — спроможність не допускати таких змін свого стану та властивостей, а також не визивати змін стану та властивостей других пов'язаних з ним об'єктів, які могли бути небезпечними для людей або навколишнього середовища.

Розділ 6. Пасивні компоненти електронних систем

6.1. Резистори

Номінальні значення опору та точність. На корпусі резистора завжди знаходиться орієнтовне значення його опору. Так резистор з маркуванням $100\ \Omega \pm 10\%$ може мати будь-який опір в межах від 90 до 110 Ом. Опір резистора з маркуванням $100\ \Omega \pm 1\%$, знаходиться в інтервалі від 99 до 101 Ом. Всі резистори, що випускаються промисловістю, об'єднують в серії. Кількість номінальних значень опорів в межах однієї серії визначається прийнятою точністю.

Наприклад, для того щоби перекрити весь можливий діапазон значень опорів від 1 до 10 з допомогою резисторів, маючих точність $\pm 20\%$ достатньо мати набір із шести базових значень (серія E6). Серія E12 включає 12 базових значень опорів з точністю $\pm 10\%$. Серія E24 має 24 базові значення опорів з точністю $\pm 5\%$. В межах кожної серії знаходиться 7 груп резисторів, опори яких відрізняються в 10 разів. Це означає, що відповідна група опорів отримується множенням базового значення на 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, 1 МОм.

Серія E6: 1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8.

Серія E12: 1,0 1,2 1,5 1,8 2,2 2,7 3,3 3,9 4,7 5,6 6,8 8,2.

Серія E24: 1,0 1,1 1,2 1,3 1,5 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,7 3,0 3,3
3,6 3,9 4,3 4,7 5,1 5,6 6,2 6,8 7,5 8,2 9,1.

Приклад [3]. В ланцюзі зміщення підсилювального каскада необхідно забезпечити струм 100 мкА ($\pm 10\%$) з допомогою джерела живлення постійної напруги 5 В. Треба вибрати тип резистора та його опір.

Опір згідно закону Ома $R=U/I=5/100=50\ \text{кОм}$.

Найближче до обчисленого значення опору (серія E24) дорівнює 51 кОм. При цьому буде забезпечено струм 98 мкА, відрізняючийся від потрібного значення на 2 %. Враховуючи точність опору $\pm 5\%$, одержимо можливий діапазон зміни струму в межах від 93 до 103 мкА, що задовольняє умовам задачі. Потужність, що виділяється в резисторі, $P=U \cdot I=0,005\ \text{Вт}$ дуже мала, тому підійде резистор на основі вугільної плівки потужністю 0,25 Вт. Для умов малошумлячого підсилювача необхідно вибрати резистор на основі окислу металу.

Поради. Максимальна потужність, яку може розсіяти резистор залежить від температури навколишнього середовища. З ростом цієї температури потужність знижується. Для підвищення надійності

резистора треба забезпечувати великий запас по потужності. Характеристики резисторів з плівками і проволочних приведені в табл.6.1 і 6.2.

Таблиця 6.1. Характеристики резисторів із різних матеріалів [3]

№	Параметр	Матеріал			
		Вугільний композит	Вугільна плівка	Металічна плівка	Окис металу
1.	Діапазон опорів, Ом	2,2–1 000 000	10–10 000 000	1–1 000 000	10–1 000 000
2.	Точність, ±%	10	5	1	2
3.	Потужність, Вт	0,125–1	0,25–2	0,125–0,5	0,25–0,5
4.	Температурний коефіцієнт	+1200	–250	+50+100	+250
5.	Стабільність	Погана	Достатня	Відмінна	Відмінна
6.	Шумові якості	Погані	Достатні	Відмінні	Відмінні
7.	Діапазон температур, С	–40+105	–45+125	–55+125	–55+125

Температурний коефіцієнт має розмірність 1000 000/°С.

Таблиця 6.2. Характеристики проволочних резисторів [3]

№	Параметр	Тип корпусу		
		Керамічний	Осклований	В алюмінієвій оболонці
1.	Діапазон опорів, Ом	0,47–22 000	0,1–22 000	0,1–1000
2.	Точність, ±%	5	5	5
3.	Потужність, Вт	4–17	2–4	25–50
4.	Температурний коефіцієнт, ±	250	75	50
5.	Діапазон температур	–55+200	–55+200	–55+200

Проволочні резистори в алюмінієвій оболонці необхідно змонтувати на охолоджувачі для розсіювання вказаної потужності. Без тепловідводу допустима потужність знижується в 2 рази. Проволочні

резистори не рекомендується використовувати в малошумлячих підсилювачах.

В тих випадках, коли треба мати декілька резисторів з однаковим номінальним значенням треба використовувати товстоплівочні резистивні збірки, що випускаються в корпусах типу DIL та SIL, замість дискретних елементів. Це резистори серії E12 з номінальними значеннями від 33 до 100 Ом.

Проволочні резистори мають значну індуктивність, тому їх не треба використовувати в високочастотних та імпульсних ланцюгах. На дуже великих частотах (більше 30 МГц) плівочні вугільні та металічні резистори також можуть мати помітні індуктивні опори за рахунок довжини своїх контактних виводів, які треба по можливості укоротити.

Якість ізоляції осклованих резисторів різко погіршується з ростом температури. Треба уникати контакта таких резисторів злюбими провідними поверхнями в режимах максимальної розсіюваної потужності.

Кольорове маркування резисторів. Резистори на основі вугільної та металооксидної плівок мають кольорове маркування, яке характеризує їх номінальний опір та точність. Існує два методи маркування: по першому резистори маркуються чотирма кольорними поясами; по другому — п'ятьма. Початок рахування поясів від найближчого виводу [3].

По першому методу пояски 1 та 2 (означають номінальне значення опору резистора): чорний 0, коричневий 1, червоний 2, оранжевий 3, жовтий 4, зелений 5, блакитний 6, фіолетовий 7, сірий 8, білий 9, поясок 3 — (множник) сріблястий 0,01, золотий 0,1, чорний 1, коричневий 10, червоний 100, оранжевий 1 000, жовтий 10 000, зелений 100 000, блакитний 1 000 000; поясок 4 — (точність $\pm\%$) червоний 2, золотий 5, сріблястий 10, без пояска 20.

По другому методу: пояски 1–3 — означають номінальне значення опору резистора, 4 — множник, 5 — точність.

Приклад. Резистор марковано чотирма кольорними поясками втакій послідовності: червоний, фіолетовий, жовтий, золотий. Визначте його параметри.

Червоний пояс — 2, фіолетовий 7, множник — жовтий 10 000 (номінал $27 \times 10\,000 = 270$ кОм), точність: золотий поясок 5% серія E24.

Маркування по системі BS 1852

Деякі типи резисторів маркуються по системі British Standard 1852. В цій системі положення децимальної коми визначається відповідною буквою множник R — 1, K — 1 000, M — 1 000 000; друга буква визначає точність резистора % F ± 1 , G ± 2 , J ± 5 , K ± 10 , M ± 20 .

Приклад. Маркування резистора 5R6K означає 5,6 Ом $\pm 10\%$.

Послідовне та паралельне з'єднання резисторів. При послідовному з'єднанні резисторів нове значення опору дорівнює сумі складових. При паралельному з'єднанні резисторів обернене значення сумарного резистора дорівнює сумі обернених значень складових.

Дільник напруги. Резистори часто використовуються в складі дільника напруги для отримання фіксованого значення напруги. В цьому випадку вихідна напруга пов'язана з вхідною наступним співвідношенням [5]:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} \cdot R_2 / (R_1 + R_2).$$

Приклад. З допомогою резистивного дільника треба одержати на навантажені опором 100 кОм напругу 1 В від джерела живлення постійної напруги 5 В.

Необхідний коефіцієнт ділення напруги $1/5 = 0,2$. Опір резисторів повинен бути значно меншим 100 кОм. В цьому випадку в розрахунку дільника опір навантаження можна не враховувати. Тоді

$$R_2 / (R_2 + R_1) = 0,2.$$

$$R_2 = 0,2 \cdot R_1 + 0,2 \cdot R_2.$$

$$R_1 = 4 \cdot R_2.$$

Тому можна вибрати $R_2 = 1$ кОм, $R_2 = 4$ кОм. Опір R_1 отримаємо шляхом послідовного з'єднання стандартних резисторів 1,8 та 2,2 кОм, виконаних на основі металізованої плівки з точністю 1% (потужність 0,25 Вт). Слід пам'ятати, що сам дільник споживає струм від первинного джерела живлення 1 мА і цей струм збільшується із зменшенням опору резисторів дільника.

Поради. Для одержання заданого значення напруги слід використовувати високоточні резистори. Недоліком простого дільника напруги є те, що із зміною опору навантаження вихідна напруга дільника змінюється. Для зменшення впливу навантаження на вихідну напругу необхідно вибирати опір R_2 , як правило, в 10 разів меншим від мінімального опору навантаження. Із зменшенням опору резисторів росте струм, що споживається від джерела вхідної напруги. Цей струм не повинен перевищувати 1–10 мА.

Дільник струму. Резистори використовуються також для того, щоби задану долю загального струму направити в плече дільника. Вихідний струм, протікаючий через резистор R_2 , складає частину загального струму, визначається опором резисторів:

$$I_{\text{вих}} = I_{\text{вх}} \cdot R1 / (R1 + R2).$$

Приклад. Стрілка вимірювального приладу відхилюється на всю шкалу в тому випадку, якщо постійний струм в рухомій котушці дорівнює 1 мА. Активний опір обмотки котушки складає 100 Ом. Розрахуйте опір шунта так, щоби стрілка приладу максимально відхилилась при вхідному струмі 10 мА.

Коефіцієнт ділення струма визначається співвідношенням [3,5]

$$I_{\text{вих}} / I_{\text{вх}} = 1 / 10 = 0,1 = R1 / (R1 + R2). \quad R2 = 100 \text{ Ом.}$$

Звідси $0,1 \cdot R1 + 0,1 \cdot R2 = R1;$

$$R1 = 10 / 0,9 = 11,1 \text{ Ом.}$$

Потрібний опір резистора R1 можна одержати шляхом послідовного з'єднання двох стандартних резисторів опором 9,1 та 2 Ом, виконаних на основі товстоплівкової технології з точністю $\pm 2\%$ (0,25 Вт). Резистор R2 — це внутрішній опір приладу.

Поради. Для забезпечення хорошої точності ділення струмів слід використовувати високоточні резистори ($\pm 1\%$).

Закони Кірхгофа. Закони Кірхгофа стосуються алгебраїчної суми струмів у вузлі або напруг в електричному контурі, які дорівнюють нулю. Струми, які направлено до вузла мають знак (+), а від вузла знак (–). Якщо при обході контура потенціал підвищується (від – до +), то напруга записується в лівій частині зі знаком (+). Навпаки — зі знаком (–) [5,6].

Приклад. Джерело електроживлення здатне віддавати в навантаження струм 500 мА. Реально воно віддає струм 300 мА для живлення підсилювача потужності, 50 мА — для живлення передпідсилювача та 20 мА для живлення індикаторного світлодіода. Який сумарний струм реально відбирається від джерела? Який ще струм воно могло би віддати ?

Вхідний струм направлено до вузла, а всі інші від вузла, тому

$$I_{\text{вх}} - I1 - I2 - I3 = 0.$$

Струм, що відбирається від джерела,

$$I_{\text{вх}} = I1 + I2 + I3 = 300 + 50 + 20 = 370 \text{ мА,}$$

а струм, який джерело могло би ще віддати,

$$500 - 370 = 130 \text{ мА.}$$

Резистори, що підстроюються. Дозволяють налаштувати електронні схеми, не прибігаючи до багаточислених замінів, пов'язаних з підбором резисторів з фіксованим опором. Ці прилади мають корпуси з відкритою або повністю закритою вугільною доріжкою, а також повністю закриті корпуси з багатообертовим регулюванням та доріжкою на основі кермета. Їх характеристики приведені в табл.6.3.

Таблиця 6.3. Характеристики резисторів, що підстроюються [3]

	Параметр	Типи резисторів, що підстроюються				
		Вугільні		На основі кермета		
		Відкриті	Закриті	Відкриті	Закриті	Багато- обертові
1.	Діапазон опорів	100 Ом– 2,2 МОм	400 Ом– 1 МОм	100 Ом– 1 МОм	100 Ом– 1 МОм	100 Ом– 1 МОм
2.	Точність, %	±20	±20	±20	±10	±10
3.	Потужність, Вт	0,2	0,15	0,75	0,5	0,25
4.	Температурний коефіцієнт	–500	–500	–125+200	±100	±100
5.	Стабільність	Погана	Погана	Середня	Хороша	Хороша
6.	Шумові властивості	Дуже погані	Погані	Середні	Хороші	Хороші
7.	Діапазон зміни температури	–55— +125	–55— +125	–40— +125	–55— +125	–55— +125

Основні характеристики: діапазон зміни опору 100 Ом–1 МОм, точність 10–20%, потужність 0,15–0,75 Вт. Відкриті та закриті вугільні резистори, що підстроюються, знаходять широке застосування, а закриті та багатообертові на основі кермета резистори використовуються в малосигнальних підсилювачах та вимірювальній апаратурі.

Змінні резистори. Найбільш часто бувають з вугільною доріжкою та проволочні потенціометри (трёхвыводні змінні резистори). Вугільні потенціометри змінюють опір або по лінійному або по напівлогарифмічному закону. Вони мають круглий або продовгуватий корпус. В регулюючих пристроях частіше зустрічаються змінні резистори з вугільною доріжкою, з'єднані в блоки з двох або трьох корпусів з одною регулюючою віссю. Діапазон опорів від 100 Ом до 100 кОм в багатообертових проволочних, точність 5%, потужність 1,5–3 Вт та від 10 Ом до 1 МОм в керметових, точність 10%, потужність 1–5 Вт.

Резистори з вугільною доріжкою мають широкі області застосування, а резистори на основі кермета знаходять широке застосування в джерелах живлення та вимірювальній апаратурі. Проволочні багатообертові використовуються в вимірювальному та випробувальному обладнанні. Характеристики змінних резисторів приведені в табл.6.4

Таблиця 6.4. Характеристики змінних резисторів [3]

№	Параметр	Типи змінних резисторів			
		Вугільна доріжка	Кермет	Проволочні	Багатообертові проволочні
1.	Діапазон опорів	5 кОм–1 МОм	10 Ом–1 МОм	10 Ом–100 кОм	100 Ом–100 кОм
2.	Точність, %	±20	±10	±5	±5
3.	Потужність, Вт	0,25	1–5	1–3	1,5–3
4.	Температурний коефіцієнт	–500	±150	+50	+50
5.	Стабільність	Погана	Хороша	Хороша	Хороша
6.	Шумові властивості	Погані	Хороші	Хороші	Хороші
7.	Діапазон зміни температури, С°	–10—+70	–40—+85	–20—+100	–55—+125

Поради. Уникайте використання резисторів, що підстроюються, з відкритою вугільною доріжкою. Вони сильно шумлять і ненадійні. Краще всього компоненти на основі кермета. Змінні резистори з вугільною плівкою також сильно шумлять до того ж дорожка швидко псується. Тому їх не можна використовувати у відповідальній апаратурі. У регуляторах гучності звуковідтворюючої апаратури використовуйте потенціометри з логарифмічним законом регулювання. Не використовуйте регулятори з вугільною доріжкою в джерелах електроживлення для регулювання вихідної напруги.

Термістори та варистори. Опір термістора сильно залежить від температури. Існує два типи термісторів з негативним (НТК) та позитивним (ПТК) температурним коефіцієнтом. Типові НТК в діапазоні температур від 25 до 100°С змінюють опір від декількох сот Ом до декількох десятків Ом. ПТК-термістори дуже мало змінюють свій опір в діапазоні температур від 0 до 75°С, зберігаючи його на рівні приблизно 100 Ом, а починаючи з температури 80°С їх опір починає швидко збільшуватись до значень приблизно 10 кОм при 120°С. Типовою областю використання ПТК термісторів є захист від зверхструмів. При значеннях струму, не перевищуючих допустимі, нагрів термістора незначний і опір його малий. У

випадку, якщо він перевищує допустиме значення, нагрів термістора посилюється і опір швидко зростає, обмежуючи струм.

Резистори, опір яких зменшується при підвищенні напруги, називаються варисторами. Варистори звичайно застосовуються для придушення зростання та сплесків напруги, виникаючих, наприклад, при комутації індуктивного навантаження.

6.2. Конденсатори

Являються засобом накопичення електромагнітної енергії в електричному полі. Типовими галузями застосування є згладжуючі фільтри та джерела живлення, ланцюги міжкаскадного зв'язку в підсилювачах змінних сигналів, фільтрація перешкод, виникаючих в шинах живлення. Електричні характеристики конденсатора визначаються його конструкцією та властивостями використовуваних матеріалів. При виборі конденсатора треба враховувати такі обставини:

- а) потрібне значення ємності (мкФ, нФ, пФ);
- б) робочу напругу (максимальне значення напруги, при якому конденсатор може довго працювати без зміни параметрів);
- в) точність (можливий розбіг значень ємності);
- г) температурний коефіцієнт ємності;
- д) стабільність конденсатора;
- е) струм витоку діелектрика при номінальній напрузі і данній температурі.

Конденсатори бувають: керамічні, електролітичні, слюдяні, на основі металізованої плівки, поліестера, поліпропілена, полікарбоната, полістірена, тантала. Основні характеристики конденсаторів приведені в табл.6.5 і 6.6.

Таблиця. 6.5. Характеристики конденсаторів

№	Параметр	Типи конденсаторів			
		Керамічний	Електролітичний	Металізована плівка	Слюдяний
1.	Діапазон зміни ємності	2,2 пФ–10 нФ	100 нФ–68 000 мкФ	1 мкФ–16 мкФ	2,2 пФ–10 нФ
2.	Точність, %	±10 та ±20	–10+50	±20	±1
3.	Робоча напруга, В	50–250	6,3–400	250–600	350
4.	Температурний коефіцієнт	+100—4700	+1000	+100—+200	+50
5.	Стабільність	Достатня	Погана	Достатня	Відмінна
6.	Діапазон температур	–85—+85	–40—+85	–25—+85	–40—+85

Таблиця 6.6. Характеристики конденсаторів

№	Параметр	Типи конденсаторів, на основі				
		Полі-				Тантала
		-естера	-пропі- лена	-карбо- ната	-стірена	
1.	Діапазон ємності	10 нФ– 2,2 мкФ	1 нФ– 470 нФ	10 нФ– 10 мкФ	10 пФ– 10 нФ	100 нФ– 100 мкФ
2.	Точність, %	±20	±20	±20	±2,5	±20
3.	Робоча напруга, В	250	1000	6,3–630	160	6,3–35
4.	Температурний коефіцієнт	+200	–200	+60	–150 +80	–55+ 250
5.	Стабільність	Хороша	Хороша	Відмінна	Хороша	Достатня
6.	Діапазон температур	–40 +100	–55 +100	–55 +100	–40 +70	–55 +85

Оскільки електричний струм визначається як зміна заряду в часі, а заряд пропорційний ємності, помноженій на напругу поміж обкладинками, то струм в конденсаторі прямо пропорційний ємності, помноженій на першу похідну від зміни напруги (швидкість). Це найпростіша модель ідеалізованого конденсатора.

Діапазон зміни ємності знаходиться в межах від 2,2 пФ для слюдяного та керамічного конденсаторів до 16 мкФ для конденсатора на основі металізованої плівки і до 68 000 мкФ для електролітичного. Точність коливається від 1% для слюдяного до 20% для керамічного на основі металізованої плівки, поліестера, поліпропілена, полікарбоната, тантала. Робоча напруга знаходиться в межах від 6,3 В для електролітичного, на основі тантала до 1000 В на основі поліпропілена.

Керамічні конденсатори застосовуються в розподільчих ланцюгах, електролітичні крім того — в згладжуючих фільтрах, конденсатори на основі металізованої плівки використовуються в високовольтних джерелах живлення. Слюдяні конденсатори використовуються в звуковідтворюючих пристроях, фільтрах та осциляторах. Прилади на основі поліестера — це конденсатори загального призначення, а на основі поліпропілена застосовуються в високовольтних ланцюгах постійного струму. Конденсатори на основі полікарбоната використовуються в фільтрах, осциляторах, часозадаючих ланцюгах.

Поради. Треба пам'ятати, що робочу напругу конденсатора треба зменшувати зі зростанням температури навколишнього середовища, для забезпечення надійності необхідно створювати запас по напрузі. Якщо

задана максимальна постійна робоча напруга конденсатора, то це відноситься до максимальної температури (при відсутності додаткових застережень). Тому конденсатори завжди працюють з певним запасом надійності. Треба забезпечувати реальну робочу напругу на рівні 0,5–0,6 дозволеного значення. Якщо для конденсатора задано максимальне значення змінного струму, то це відноситься до частоти (50–60) Гц. Для більш високих частот або у випадку імпульсних сигналів необхідно додатково знижувати робочу напругу для виключення перегріву приладу із-за втрат в діелектрику. Конденсатори великої ємності з малими струмами витоку здатні довго зберігати заряд після їх виключення. Для забезпечення безпечної роботи в ланцюг розряду конденсатора слід включити резистор опором 1 МОм. У високовольних ланцюгах використовується послідовне включення конденсаторів. Для вирівнювання напруг на них треба паралельно кожному з них ввімкнути резистор опором від 220 кОм до 1 МОм.

Керамічні прохідні конденсатори можуть працювати на дуже високих частотах (більше 30 МГц). Їх монтують безпосередньо на корпусі приладу або на металічному екрані. Неполлярні електролітичні конденсатори мають ємність від 1 до 100 мкФ і розраховані на діюче значення напруги 50 В. При виборі конденсатора фільтра джерела живлення слід звертати увагу на амплітуду імпульса зарядного струму, який може значно перевищувати допустиме значення.

Кольорове маркування конденсаторів. На корпусі більшості конденсаторів написані їх параметри, але зустрічається і кольорове маркування. Деякі конденсатори маркують написом в дві строчки: на першій указують їх ємність (пФ, мкФ) та точність ($K=10\%$, $M=20\%$). В другій строчці приводяться допустима постійна напруга та код матеріала діелектрика. Монолітні керамічні конденсатори маркуються кодом з трьох цифр. Остання показує скільки нулів треба дописати до перших двох, щоб отримати ємність у пікофарадах. Кольорові пояски розпочинаються з боку, протилежного виводам конденсатора. Пояски 1,2: чорний 0, коричневий 1, червоний 2, оранжевий 3, жовтий 4, зелений 5, блакитний 6, фіолетовий 7, сірий 8, білий 9; пояс 3 (множник) оранжевий 1 000, жовтий 10 000, зелений 100 000; пояс 4 (точність %): білий 10, чорний 20; пояс 5 (робоча постійна напруга, В): червоний 250, жовтий 400.

Послідовне та паралельне з'єднання конденсаторів. При послідовному з'єднанні конденсаторів зворотня величина ємності суми дорівнює сумі зворотніх ємностей кожного. При паралельному з'єднанні результуюча ємність дорівнює алгебраїчній сумі складових.

Електричний опір конденсатора. Опір конденсатора змінному струмові визначається як відношення напруги до струму і виражається в омах (Ом). Він обернено пропорційний ємності та частоті змінного струма:

$$X_c = U/I_c = 1/2 \cdot \pi \cdot f \cdot C,$$

де X_c — опір, Ом; f — частота, Гц; C — ємність, Ф.
Фази напруги та струму в конденсаторі зсунуті відносно один одного на 90° , причому струм випереджує напругу.

6.3. Котушка індуктивності

Дозволяє запасати електромагнітну енергію в магнітному полі. Типовою галуззю їх використання є згладжуючі фільтри та різноманітні селективні ланцюги. Електричні характеристики котушок індуктивності визначаються їх конструкцією, властивостями матеріалу магнітопроводу та його конфігурацією, числом витків обмотки. При виборі котушки індуктивності треба враховувати такі фактори:

- а) потрібне значення індуктивності;
- б) максимальний струм котушки. Великий струм дуже небезпечний із-за сильного нагріву, прямоку можна зіпсувати ізоляцію обмоток. При великому струмові може виникнути насичення магнітопроводу і зниження індуктивності;
- в) точність виконання індуктивності;
- г) температурний коефіцієнт;
- д) стабільність, що визначається залежністю індуктивності від зовнішніх факторів;
- е) активний опір провoda обмотки;
- ж) добротність котушки. Вона визначається на робочій частоті як відношення індуктивного та активного опорів;
- з) частотний діапазон котушки.

Зараз випускаються радіочастотні котушки індуктивності, розраховані згідно з серією Е6 на фіксовані значення частоти з індуктивністю від 1 мкГн до 10 мГн. Точність $\pm 10\%$. Добротність від 20 до 100. В таблиці 6.7 наведені характеристики котушок. В таблиці 6.8 наведені характеристики котушок з феритовим магнітопроводом.

Оскільки наведена ЕРС (напруга) пропорційна швидкості зміни потікозчеплення, а потікозчеплення пропорційне індуктивності, помножений на силу струму, то напруга на індуктивному елементі пропорційна індуктивності, помножений на швидкість зміни струму.

Таблиця 6.7. Характеристики деяких котушок індуктивності

№	Параметр	Тип котушки					
		Одношарова з незамкненим магнітопроводом		Багатошарова з незамкненим магнітопроводом		Багатошарова броньового типу	
		Повітря	Ферит	Повітря	Ферит	Ферит	Сталь
1.	Діапазон зміни	50 нГн–10 мкГн	1 мкГн–100 мкГн	5 мкГн–500 мкГн	10 мкГн–1 мГн	1 мкГн–100 мГн	20 мкГн–20 Гн
2.	Опір постійному струмові, Ом	0,05–1	0,1–10	1–20	2–100	2–100	10–400
3.	Точність, %	10	10	10	10	10	10
4.	Добротність	60	80	100	80	40	20
5.	Струм, А	0,і	0,і	0,2	0,5	0,5	0,і
6.	Діапазон частот	5 МГц–500 МГц	і МГц–200 МГц	200 кГц–20 МГц	100 кГц–10 МГц	і кГц–і МГц	50 Гц–20 кГц

Таблиця 6.8. Основні характеристики феритових магнітопроводів

№	Параметр	Тип магнітопровода				
		RM5	RM6	RM7	RM9	RM10
1.	Коефіцієнт індуктивності, нГн/вит	160	250	250	250	250
2.	Точність, %	±3	±3	±3	±2	±3
3.	Кількість витків на 1 мГн	79	63,3	63,3	63,3	50
4.	Діапазон підстройки, %	±20	±14	±15	±17	±20
5.	Еквівалентна магнітна проникливість	100	155	146	90	145
6.	Температурний коефіцієнт	51–154	80–241	73–219	50–149	80–239
7.	Частотний діапазон, кГц	6–800	4–700	3–650	2–650	і–500
8.	Магнітний потік насичення, Тл	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
9.	Кількість витків котушки для провода діаметром, мм					
	0,2	205	205	306	612	612
	0,5	36	36	50	98	98
	1	9	9	11	25	25

Одношарові з незамкнутим магнітопроводом котушки індуктивності застосовуються в ланцюгах настройки приладів. Багатошарові з незамкнутим магнітопроводом котушки використовуються в фільтрах та високоточних трансформаторах. Багатошарові котушки броньового типу з сердечником із фериту застосовуються в фільтрах низьких та середніх частот, трансформаторах. Аналогічні котушки, але із стальним сердечником використовуються в згладжуючих дроселях та низькочастотних фільтрах.

Формули для розрахунку котушки. Параметри одношарових котушок, в яких відношення довжини до діаметра більше 5:

$$L=0,2 \cdot N^2 \cdot d^2 / (20 \cdot l + 9 \cdot d); \quad N=(2,24/d) \sqrt{L \cdot (20 \cdot l + 9 \cdot d)},$$

де L — індуктивність, мкГн; N — число витків;
 d — діаметр котушки, см; l — довжина намотки, см.

Параметри багатошарової котушки, в якій відношення діаметра до довжини більше 1, визначаються так:

$$L=N^2 \cdot d_m^2 / 100 \cdot d, \quad N=(10/d_m) \sqrt{L \cdot d},$$

де L — індуктивність, мкГн; N — число витків;
 d_m — середній діаметр обмотки, см; d — товщина обмотки, см.

Одно та багатошарові котушки з незамкненим феритовим магнітопроводом будуть мати індуктивність в 1,5–3 рази більшу в залежності від властивостей та конфігурації сердечника. Латунний сердечник знижує індуктивність до 60–90% у порівнянні з її значенням без сердечника.

Перед розрахунком індуктивності треба визначити число витків, які можна розмістити на даній котушці. Чим менше діаметр провода, тим більше число, але тим більше опір провода та його нагрів. Значення струму котушки не повинно перевищувати 100 мА для провода 0,2 мм, 750 мА для 0,5 мм, 4 А для 1 мм.

Поради. Індуктивність котушок зі стальним сердечником дуже швидко зменшується зі зростом постійної складової струму обмотки. Максимальний струм котушки залежить від температури. Для забезпечення надійної роботи треба забезпечувати великий запас по струмові. Феритові тороїдальні сердечники ефективні для виготовлення фільтрів і трансформаторів на частотах вище 30 МГц. При цьому обмотки складаються з декількох витків. При використанні любых типів сердечників частина магнітних силових ліній замикається не по магнітопроводу, а через навколишній простір. Особливо сильно ефект

проявляється на незамкнених магнітопроводах. Ці поля розсіювання являються джерелом перешкод. Котушка індуктивності має паразитну ємність, яка приводить до виникнення коливного контура. Резонансна частота становить від 20 кГц до 100 МГц.

Послідовне та паралельне з'єднання котушок. При послідовному з'єднанні котушок сумарна індуктивність дорівнює сумі індуктивностей котушок. При паралельному з'єднанні зворотня величина результуючої величини індуктивності дорівнює сумі зворотніх величин кожної індуктивності.

Електричний опір котушки. Визначається відношенням діючих значень напруги та струму і прямо пропорційний індуктивності та частоті зміни струму і вимірюється в омах (Ом).

$$X_L = U_L / I_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L,$$

де X_L — опір, Ом; f — частота, Гц; L — індуктивність, Гн.

Криві зміни струму та напруги на індуктивності зсунуті відносно один одного на 90° (при активному опорі рівному нулю), причому струм відстає від напруги.

Приклад. Через котушку індуктивністю 10 мГн тече струм 20 мА на частоті 400 Гц. Визначте напругу на котушці.

Опір котушки $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 6,28 \cdot 400 \cdot 0,001 = 251$ Ом.

Діюче значення напруги $U_L = I_L \cdot X_L = 0,02 \cdot 251 = 5,02$ В.

6.4. Трансформатори

Трансформатори дають можливість передавати енергію із однієї частини електронної схеми в іншу, яка безпосередньо не зв'язана з першою. Трансформатор завжди має первинну (вхідну) та одну або декілька вторинних (вихідних) обмоток. Відношення вторинної і первинної напруг визначається коефіцієнтом трансформації, який може бути як більше одиниці (підвищуючий трансформатор), так і менше одиниці (понижуючий трансформатор). Оскільки в трансформаторі є певні втрати енергії на перемагнічення та нагрів його первинної та вторинної обмоток, його вторинна потужність завжди менша за первинну. Підвищуючі та понижуючі трансформатори використовують в джерелах живлення, для узгодження ланцюгів в підсилювачах потужності звукових частот, для розділення ланцюгів по постійному струму.

Електричні характеристики трансформатора визначаються:

а) допустимим струмом і напругою на первинній та вторинній обмотках. Відношення числа витків дорівнює відношенню відповідних напруг;

б) максимальну потужність ВА, яка буде довгий час передаватись через трансформатор не перегріваючи його;

в) діапазон робочих частот;

г) зниження вторинної напруги трансформатора при зміні навантаження від нуля максимального.

Розрахункова потужність визначається перемноженням коефіцієнта 1,1 на суму потужностей, що використовуються всіма навантаженнями. Множник враховує втрати потужності на нагрів у трансформаторі.

Зауваження. Максимальна потужність, що передається трансформатором, визначається максимальною температурою його нагріву. Із ростом температури навколишнього середовища допустима потужність знижується. Для збільшення надійності приладу слід забезпечити запас по потужності, фактично зменшуючи при цьому нагрів трансформатора.

Кожний трансформатор є джерелом потужних електромагнітних перешкод, що викликані полями розсіювання. Під час монтажу апаратури трансформатор або надійно екранують, щоб локалізувати поля усередині екрану, або ставлять його подалі від чутливих до перешкод елементів схеми, якими є вхідні ланцюги підсилювачів, електронно-проміневі трубки, малопотужні проміжні трансформатори і т.ін.

Не допускається використання трансформатора за межами застережень для нього значень напруги. В іншому разі може статися насичення магнітопроводу, що спричинить різке зростання струму первинної обмотки, перегрів та вихід з ладу приладу.

Під час монтажу тороїдального трансформатора не можна допустити, щоб виявилися електрично з'єднаними кінці скріплюючого трансформатор прогонича. Таке з'єднання еквівалентно короткозамкненому витку, по якому буде циркулювати необмежений струм. При цьому трансформатор вийде з ладу.

Розділ 7. Аналіз простих ланцюгів електронних систем

7.1. Атенюатори

Найпростіші аттенюатори, створені на основі резистивних ділянок напруги, показані на рис.7.1, 7.2. Кожен з них має постійний вхідний опір електричному струму (1 МОм для рис.7.1 та 910 Ом — для рис.7.2). В обох випадках використовуються високостабільні високоточні (1%) резистори. Навантаження аттенюатора повинно мати вхідний опір, значно перевищуючий його вихідний опір. В іншому разі не можна забезпечити достатню точність ділення вхідної напруги.

В деяких схемах бажано мати резистивні ланцюги з однаковими вхідним та вихідним опором, наприклад, для узгодження аттенюатора з хвильовим опором кабелю. На рис.7.3–7.5 приведені схеми Т-, П- та Н-типів, які за умови з'єднання з обох боків кабелю з хвильовим опором Z_0 , забезпечують вхідний та вихідний опори, рівні Z_0 . Значення опорів резисторів R_1 та R_2 розраховані за формулами, наведеними у табл.7.1. Звичайно Z_0 дорівнює 600 Ом для телефонних ліній та кабелів, працюючих у діапазоні звукових частот. Для відео- та радіочастот Z_0 складає 50 або 75 Ом. Зазначимо, що коефіцієнт ділення

$$A = \frac{U_{вх}}{U_{вих}}.$$

Аттенюатори Т- та П-типів використовуються для небалансних ланцюгів, один полюс яких заземлений. Аттенюатори Н-типу застосовуються для схем з балансним входом.

Таблиця 7.1 Значення опорів резисторів R_1 та R_2

Опір резистора	Тип аттенюатора		
	Т-образний	П-образний	Н-образний
R_1	$Z_0 \cdot (A-1)/(A+1)$	$Z_0 \cdot (A^2-1)/(2 \cdot A)$	$Z_0 \cdot (A-1)/(2 \cdot (A+1))$
R_2	$Z_0 \cdot 2 \cdot A/(A^2-1)$	$Z_0(A+1)/(A-1)$	$Z_0 \cdot 2 \cdot A/(A^2-1)$

Приклад 7.1. Розрахуйте небалансний аттенюатор з коефіцієнтом ділення $A=10$ та вхідним опором 75 Ом. Бажано використати стандартні резистори.

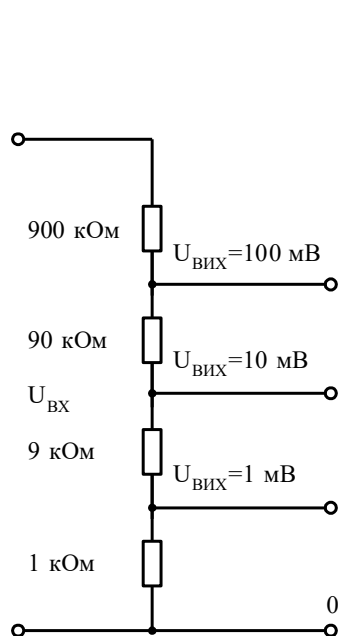


Рис. 7.1

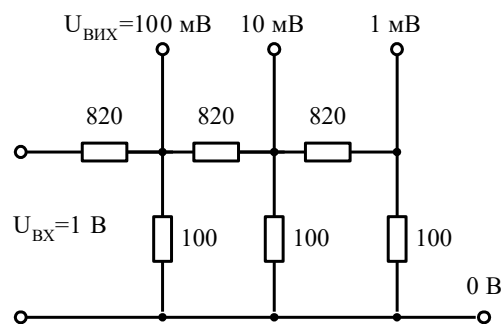


Рис. 7.2

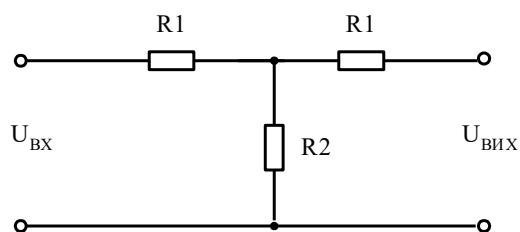


Рис. 7.3

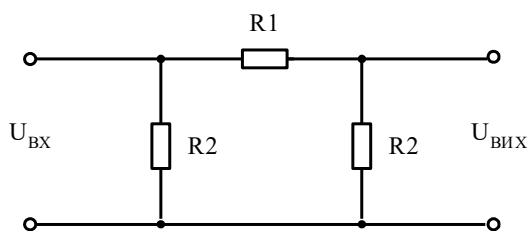


Рис. 7.4

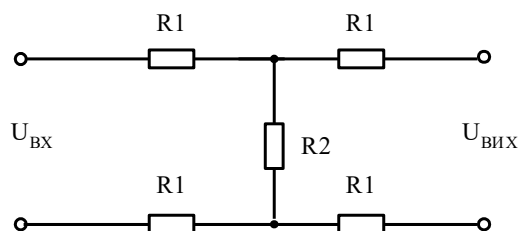


Рис. 7.5

Рис. 7.1 — 7.5. Дільники напруг: 7.1 — найпростіший; 7.2 — з постійним вхідним та вихідним опорами; 7.3 — 7.5 — Т, П, Н-типів

Для вирішення задачі потрібно проаналізувати схеми Т- і П-типів з метою визначення варіанту, в якому можна використовувати стандартні резистори.

Для Т-схеми:

$$R1 = 75 \cdot (10 - 1) / (10 + 1) = 61,3 \text{ Ом},$$

$$R2 = 75 \cdot 2 \cdot 10 / (100 - 1) = 15,2 \text{ Ом}.$$

Для П-схеми:

$$R1 = 75 \cdot (100 - 1) / (2 \cdot 10) = 371,3 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 75 \cdot (10+1)/(10-1) = 91,7 \text{ Ом.}$$

В нашому випадку більш доцільно використати схему Т-типу, так як резистор R_1 можна реалізувати шляхом паралельного з'єднання двох стандартних резисторів по 120 Ом кожний. В якості R_2 використовується стандартний резистор з опором 15 Ом. Якщо точність розрахованих резисторів не гірша 2%, тоді точність ділення вийде кращою 4%, що цілком достатньо.

7.2. Поняття децибел

Децибел (дБ) — широко розповсюджена величина для вимірювання посилення або послаблення сигналів різного роду. Децибел — це одна десята величини, що називається бел та дорівнює десятковому логарифмові відношення вихідної потужності $P_{\text{вих}}$ до вхідної потужності $P_{\text{вх}}$. Тому коефіцієнт посилення по потужності, виражений у белах, записується у вигляді:

$$K_B = \lg \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}}.$$

Та ж величина, але виражена у децибелах, записується у вигляді

$$K_{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}}.$$

Якщо потужність виразити через напругу або струм, тобто U^2/R або якщо вважати опори однаковими, то коефіцієнти підсилення за напругою або струмом можна записати таким чином:

$$K_{U \text{ дБ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}, \quad K_{I \text{ дБ}} = 20 \lg \frac{I_{\text{вих}}}{I_{\text{вх}}}.$$

Ці вирази мають універсальний характер та використовуються у тих випадках, коли опори на вході та виході не однакові. Якщо вихідні напруга або струм більше, ніж вхідні величини, то K_B виходить позитивним. Ця ситуація характерна для підсилювачів. У випадку аттенуаторів вихідна величина менша за вхідну і тоді K_B виходить негативним.

У табл.7.2 наведені коефіцієнти посилення за потужністю, напругою та струмом, виражені в абсолютних одиницях та децибелах (дБ).

Таблиця 7.2. Коефіцієнти підсилення

дБ	K_P	K_U, K_I	дБ	K_P	K_U, K_I
0	1	1	10	10	3,16
1	1,26	1,12	13	19,95	3,98
2	1,58	1,26	16	39,81	6,31
3	2	1,41	20	100	10
4	2,51	1,58	30	1000	31,62
5	3,16	1,78	40	10000	100
6	3,98	2	50	100000	316,23
7	5,01	2,24	60	1000000	1000
8	6,31	2,51	70	10000000	3162,3
9	7,94	2,82			

Приклад 7.2. На виході узгодженого аттенюатора діє напруга 10 мВ за входної напруги 200 мВ. Визначити коефіцієнт послаблення сигналу у децибелах (дБ).

Згідно з визначенням:

$$K = 20 \lg \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = 20 \lg \frac{10}{200} = 20 \lg 0,05,$$

$$K = -26 \text{ дБ.}$$

Приклад 7.3. Коефіцієнт підсилення за потужністю підсилювача дорівнює 33 дБ. Обчисліть вихідну потужність, якщо вхідна потужність складає 20 мВт.

Підставимо числові значення до формули:

$$K_P = 10 \lg \frac{P_{вих}}{P_{вх}},$$

одержуємо:

$$33 = 10 \lg \frac{P_{вих}}{20};$$

$$\lg \frac{P_{вих}}{20} = 3,3;$$

$$\frac{P_{вих}}{20} = 2000;$$

$$P_{вих} = 40 \times 10^3 \text{ мВт} = 40 \text{ Вт}.$$

Зауваження. Кожний фіксований коефіцієнт ділення сигналу можна одержати шляхом послідовного з'єднання аттенюаторів. Підсумковий коефіцієнт ділення дорівнює добутку коефіцієнтів ділення складаючих аттенюаторів або їх сумі, якщо вони виражені у децибелах. Наприклад, результуюча величина, що дорівнює -19 дБ, отримується послідовним з'єднанням аттенюаторів з коефіцієнтами відповідно -3 , -6 та -10 дБ.

Для одержання точних широкополосних аттенюаторів слід використовувати точні вугляні або металоплівочні резистори, так як вони мають значну індуктивність.

Особливу увагу слід приділити конструюванню високочастотних та сильно послабляючих аттенюаторів. Як правило, окремі секції багатосекційного аттенюатора екранують, ретельно розносять вхідні та вихідні вводи, мінімізують довжини з'єднуючих дротів, використовують високоякісні екрановані кабелі та розташовують аттенюатори у металевому заземленому корпусі.

7.3. RC-ланцюги

Ці ланцюги широко використовують у електронній схемотехніці у якості часозадаючих елементів. Якщо до його вхідних затискачів під'єднати джерело живлення постійної напруги U_s , то спершу незаряджений конденсатор C почне заряджатися.

При цьому напруга U_C між його обкладинками буде експоненціально зростати. Одночасно буде експоненціально зменшуватися струм i у розглядуваному ланцюгу. Швидкість зміни напруги та струму визначається постійною часу $\tau = C \cdot R$. До того ж ємність C вимірюється у фарадах, опір R — у омах, а постійна часу τ — у секундах.

Закон зміни напруги на конденсаторі має такий вигляд:

$$U_C(t) = U_s(1 - e^{-t/C \cdot R}),$$

де t — час, с.

Під час початкового часового інтервалу $t = \tau$ напруга на конденсаторі зросте до $0,63U_s$. За наступний такий же часовий інтервал напруга зміниться на $0,63(U_s - 0,63U_s)$ і т.д.

Теоретично конденсатор ніколи не зарядиться до максимальної напруги, що дорівнює U_s . Однак, за час порядку 5τ напруга на ньому настільки незначно відрізняється від U_s , що процес зарядки можна вважати закінченим та прийняти $U_C = U_s$.

Заряджений конденсатор запасав енергію у вигляді електричного поля. Якщо повністю заряджений конденсатор ввімкнути у схему, то він почне розряджатися через резистор і напруга між його обкладинками буде зменшуватися. Швидкість зменшення струму і напруги, як і у попередньому випадку, визначається постійною часу $\tau = C \cdot R$. В цьому випадку напруга

$$U_C(t) = U_S e^{-t/C \cdot R}$$

у припущенні, що початкова напруга на конденсаторі дорівнює U .

Під час початкового часового інтервалу $t = \tau$ напруга і струм конденсатора зменшуються до 0,37 початкового значення. За наступний такий самий часовий інтервал $t = \tau$ напруга і струм ще раз зменшуються до 0,37 попереднього значення і т.д. Теоретично конденсатор ніколи повністю не розряджається, тому вважається, що за час, приблизно рівний 5τ , напруга та струм виявляються настільки невеликими, що їх можна вважати дорівнюючими нулю.

Приклад 7.4. Нерозряджений конденсатор ємністю 1 мкФ з'єднується з джерелом живлення постійної напруги 9 В через резистор з опором 3,3 МОм. Розрахуйте напругу на конденсаторі через 1 с.

Закон зміни напруги на конденсаторі записується у вигляді

$$U_C(t) = U_S (1 - e^{-t/\tau}),$$

$$U_S = 9 \text{ В}; \quad \tau = C \cdot R = 10^{-6} \cdot 3,3 \cdot 10^6 = 3,3 \text{ с}; \quad t = 1 \text{ с}.$$

$$\text{Тому } U_C(t) = 9(1 - e^{-1/3,3}) = 2,358 \text{ В}.$$

Приклад 7.5. Конденсатор ємністю 10 мкФ був спочатку заряджений до напруги 20 В, а потім розряджений через резистор з опором 47 кОм. Розрахуйте час, за який напруга на конденсаторі зменшиться до 10 В.

Закон зміни напруги на конденсаторі записується у вигляді

$$U_C(t) = U_S e^{-t/\tau},$$

$$U_S = 20 \text{ В}; \quad \tau = C \cdot R = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 47 \cdot 10^3 = 470 \text{ мс}; \quad U_C(t) = 10 \text{ В}.$$

$$\text{Тому час: } t = \tau \cdot \ln(U_S/U_C(t)) = 470 \cdot \ln(20/10) = 470 \cdot \ln 2 = 470 \cdot 0,693 = 325 \text{ мс}.$$

Передача сигналу прямокутної форми RC–ланцюгом.

Згладжуючий RC–ланцюг за певних умов може виконувати роль інтегруючої ланки. RC–ланцюг, в залежності від параметрів, може

виконувати функції розподільної ланки, скорочуючого або диференціюючого ланцюга.

Ефективність розглядуваних ланцюгів залежить від співвідношення між постійною часу ланцюга ($\tau=R \cdot C$) та періодом вхідного сигналу t . Наприклад, функція інтегрування виконується тим краще, чим дужче виражена нерівність $\tau \gg t$. При цьому автоматично виконується співвідношення $U_{\text{вих}} \ll U_{\text{вх}}$. Функція диференціювання виконується ланцюгом тим краще, чим дужче виражена нерівність $\tau \ll t$. При цьому знову таки $U_{\text{вих}} \ll U_{\text{вх}}$. В цьому є дуже суттєвий недолік розглядуваних схем. Слід звернути увагу на положення нульової лінії на кривих вихідного сигналу $U_{\text{вих}}$, який є чисто змінною величиною, так як конденсатор C постійну складову не пропускає.

Приклад 7.6. Потрібно розрахувати укорочуючий RC –ланцюг для одержання послідовності коротких позитивних та негативних імпульсів. Вхідним сигналом є послідовність прямокутних імпульсів з частотою 1 кГц з часом імпульсу, дорівнюючим часу паузи.

Згідно з часовими діаграмами слід обрати постійну часу τ набагато меншою за період вхідного сигналу, тобто $\tau \ll t$.

Зупинимося на $\tau=R \cdot C=0,1 \cdot t$ та деякому середньому значенні опору резистора R , наприклад 10 кОм. В цьому разі

$$C = \frac{0,1t}{R} = \frac{0,1 \times 10^{-3}}{10 \times 10^3} = 0,01 \times 10^{-6} \text{ Ф} = 10 \text{ нФ}.$$

Практично для вирішення завдання підійде будь-яке значення C , що дорівнює або менше 10 нФ. При дуже малій ємності (скажімо, 1 нФ) тривалість вихідного сигналу буде дуже незначна, а якщо фронт наростання і спаду вхідного сигналу не ідеальний, то і амплітуда вихідного сигналу виявиться дуже малою. Тому можна зупинитися на значеннях 4,7 або 2,2 нФ.

Приклад 7.7. Потрібно зпроектувати RC –ланцюг для одержання напруги трикутної форми з вхідного сигналу, маючого форму прямокутних імпульсів з тривалістю імпульса, дорівнюючою часу паузи, та частотою 1 кГц.

Згідно з часовими діаграмами слід обрати постійну часу τ набагато більшою ніж період вхідного сигналу, тобто $\tau \gg t$.

Обираємо $\tau=R \cdot C=10 \cdot t$. Опір резистора R можна прийняти рівним деякому середньому значенню, наприклад 10 кОм. Тоді

$$C = \frac{10}{R} = \frac{10 \times 1 \times 10^{-3}}{10 \times 10^3} = 10^{-6} \text{ Ф} = 1 \text{ мкФ}.$$

Таким чином, можна взяти ємність, рівну або більшу за одержану. Правда, за занадто великої ємності (скажімо, 10 мкФ) амплітуда вихідного сигналу буде дуже малою. Тому доцільно обрати ємність, що дорівнює 2,2 або 4,7 мкФ.

7.4. RL–ланцюги

В електронній схемотехніці RL–ланцюги також можуть використовуватися для завдання часових інтервалів та для перетворення форми імпульсів. Однак, котушка індуктивності більш за все є небажаним елементом в електронній схемі, оскільки вона займає багато місця, має великі габарити та є джерелом перешкод. Крім того, виготовлювачу апаратури доводиться нестандартні котушки виготовляти самому, що теж надто незручно. Тому котушки не завжди зручно застосовувати у часозадаючих ланцюгах та формувачах імпульсів, хоча доволі часто їх використання просто необхідно. Найпростіший послідовний ланцюг, що складається з індуктивності L , резистора R та джерела живлення постійної напруги. Під час з'єднання джерела в ланцюгу з'являється струм i .

Швидкість зміни струму визначається постійною часу, що дорівнює відношенню індуктивності до опору резистора, тобто

$$\tau = \frac{L}{R},$$

де L — індуктивність, Гн; R — опір резистора, Ом; τ — час, с.

Напруга, що прикладена до котушки U_L , змінюється з часом, згідно рівнянню

$$U_L(t) = U_s e^{-t/\tau},$$

де $\tau = L/R$.

Напруга на котушці зменшується з часом. За час, що дорівнює τ , вона зменшується до 37% початкового значення U_s . Струм в ланцюзі за той же час зростає до максимально можливого значення $0,63 \cdot (U_s/R)$. За наступний часовий інтервал такої ж тривалості відносна зміна напруги та струму буде точно такою ж.

Тому теоретично струм в ланцюгу та напруга на індуктивності ніколи не досягають своїх граничних значень. Заведено вважати, що за

час 5τ перехідний процес зростання струму та спаду напруги практично завершується. При цьому U_L вважається рівним нулю, а струм — дорівнює U_S/R .

Під час протікання струму крізь котушку в ній накопичується енергія, що міститься в електромагнітному полі. При зміні струму повинна змінюватися і енергія. Якщо зберігається замкнений електричний ланцюг, то “зайва” енергія розсіюється у вигляді тепла в резисторі. Якщо електричний ланцюг раптово розривається, то на котушці виникають значної амплітуди сплески напруги (протиЕРС), за рахунок яких індуктивність прагне підтримати протікання попереднього струму в тому ж напрямку. Амплітуда виникаючого імпульсу напруги, прямо пропорційна індуктивності котушки L та швидкості обриву струму, записується у вигляді

$$e = L \frac{di}{dt}.$$

Знак похідної від струму по часу (позитивний та негативний) залежить від того, зростає струм чи зменшується.

Приклад 7.8. Крізь котушку, що має індуктивність 100 мГн , тече струм 10 мА , який від’єднується електронним ключем за 20 мкс . Визначіть виникаючу на затискачах котушки протиЕРС.

Швидкість зміни струму котушки

$$\frac{di}{dt} = \frac{10 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = -0,5 \times 10^3 \text{ А/с}.$$

Генерована протиЕРС

$$e = L \frac{di}{dt} = -100 \times 10^{-3} \times 0,5 \times 10^3 = -50 \text{ В}.$$

Таким чином, на затискачах котушки виникає імпульс напруги з амплітудою 50 В . Час його спаду визначається конкретною схемою з’єднання котушки.

Передача сигналу прямокутної форми RL–ланцюгом

Ланцюги можуть виконувати ті ж функції, що і раніш розглянуті RC–ланцюги. Так, схема згладжує імпульсний вхідний сигнал і за умови $U_{\text{вих}} \ll U_{\text{вх}}$, виконує операцію його інтегрування, якщо постійна часу L/R набагато більша періоду частоти входного сигналу.

Схема, за умови $U_{\text{вих}} \ll U_{\text{вх}}$, яке виконується за $L/R \ll t$, здійснює операцію диференціювання вхідного сигналу.

Однак варто відмітити, що на практиці для виконання описаних операцій завжди використовуються RC–ланцюги. Тому тут не розглянуті приклади використання RL–ланцюгів.

Накопичення енергії. Конденсатори та котушки індуктивності здатні накопичувати електричну енергію. Конденсатором вона запасається у електричному полі та визначається наступним рівнянням:

$$E = \frac{1}{2}CU^2,$$

де C — ємність, Ф; U — напруга, В; E — енергія, Дж.

Котушкою індуктивності енергія запасається у магнітному полі та визначається співвідношенням

$$E = 0,5 \cdot L \cdot I^2,$$

де L — індуктивність, Гн; I — струм, А; E — енергія, Дж.

Типовим прикладом накопичувача енергії в електронній схемі є конденсатор згладжуючого фільтра випрямляча. Цей “резервуар” енергії періодично підзаряджується від живлючої мережі через випрямляч змінного струму. Під час часових інтервалів, коли випрямляч знаходиться у несправному стані, уся схема споживає необхідну енергію безпосередньо з конденсатора (він розряджається через навантаження).

Якщо напруга в живлячій мережі змінного струму раптово зникає, то конденсатор може протягом декількох десятків періодів частоти живлячої мережі підтримувати функціонування електронної схеми за рахунок наявних в ньому запасів енергії.

7.5. LC–та LCR–ланцюги

Розділяються на два види: послідовний резонансний LC–ланцюг і паралельний LC–ланцюг. Опір цих ланцюгів змінному струму сильно залежить від частоти сигналу. Для схеми послідовного резонансного контура справедливо співвідношення

$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2},$$

де Z — опір послідовного ланцюга, Ом; X_L та X_C — опори котушки та конденсатора відповідно, Ом.

Фазовий зсув між живлячою схемою змінною напругою та струмом дорівнює $+\pi/2$ рад (або $+90^\circ$), коли $X_L > X_C$ (на частоті вище резонансної), або $-\pi/2$ рад (або -90°), коли $X_L < X_C$ (на частоті нижче резонансної). На частоті послідовного резонансу $X_L = X_C$ та повний опір контура дорівнює нулю. Струм при цьому максимальний.

Опір паралельного контура (ланцюга) визначається співвідношенням:

$$Z = X_L \cdot X_C / \sqrt{(X_L - X_C)^2}.$$

Фазовий кут між живлячою напругою та струмом контура дорівнює $+\pi/2$ рад (або $+90^\circ$), якщо $X_L > X_C$ (на частоті вище резонансної), або $-\pi/2$ (або -90°), якщо $X_L < X_C$ (на частоті нижче резонансної).

На частоті паралельного резонансу $|X_L| = |X_C|$, тому повний опір контура Z необмежено зростає. За цих умов струм контура буде мінімальним (в ідеальному випадку він дорівнює нулю).

В реальних LC-ланцюгах завжди є активний опір. Це може бути опір обмотки котушки, опір витоку конденсатора, опір навантаження і т.ін. В цілому ряді випадків необхідно урахувати вплив цього опору на властивості ланцюга. Результуючий опір кожного контура залежить від частоти.

Для схеми послідовного резонансного контура можна записати

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

На частоті резонансу $|X_L| = |X_C|$ та $Z = R$.

Фазовий зсув вхідної напруги відносно спільної

$$\Phi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Результуючий опір контура розраховується у вигляді

$$Z = R \cdot X_L \cdot X_C / \sqrt{(X_L \cdot X_C)^2 + R^2 \cdot (X_L - X_C)^2}.$$

На частоті паралельного резонансу $|X_L| = |X_C|$ та $Z = R$. Фазовий зсув між струмом та напругою

$$\Phi = \arctg R \cdot (X_L - X_C) / X_L \cdot X_C.$$

Резонанс. Частота, на якій опір послідовного LC-контура дорівнюється нулю, а паралельного — необмежено зростає, називається резонансною. В обох випадках резонансна частота

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

де L — індуктивність, Гн; C — ємність, Ф; f_0 — частота, Гц.

В кожному випадку на резонансній частоті f_0 результуючий опір контура дорівнює R . Одну характеристику називають резонансною, другу — режекторною (загороджуючою).

Якість резонансного та режекторного ланцюгів визначається їх добротністю Q . Чим більша добротність, тим більш гострою буде характеристика, і навпаки: чим менше добротність, тим більш пологою виглядає характеристика. У випадку послідовного контура добротність збільшується при зменшенні R , а у випадку паралельного контура вона збільшується при збільшенні R .

Таким чином, вигляд характеристики можна змінювати шляхом введення в контур відповідного опору. Смуга пропускання контуру визначається рівнянням

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q}.$$

Приклад 7.9. Резонансна частота паралельного LC-контуру дорівнює 400 Гц. Індуктивність котушки 100 мГн. Необхідно розрахувати ємність конденсатора. З вираження для резонансної частоти

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

одержуємо

$$C = \frac{1}{f_0^2 4\pi^2 L} = \frac{1}{400^2 \times 39,4 \times 100 \times 10^{-3}} = 1,58 \text{ мкФ}.$$

Така ємність реалізується при послідовному з'єднанні двох конденсаторів ємністю 2,2 та 5,6 мкФ.

Приклад 7.10. В послідовному LCR-ланцюгу $L=20$ мГн, $C=10$ нФ, $R=100$ Ом. До ланцюга прикладено синусоїдну напругу 1 В з частотою 2 кГц. Розрахуйте струм в ланцюгу та напругу на резисторі.

Перш за все слід визначити опори котушки індуктивності та конденсатора:

$$X_L = 2\pi f_L = 6,38 \times 2 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-3} = 251,2 \text{ Ом};$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f_c} = \frac{1}{6,28 \times 2 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-9}} = 796,2 \text{ Ом}.$$

Після цього розрахуємо результуючий опір послідовного ланцюга:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{100^2 + (251,2 - 796,2)^2} = \sqrt{10000 + 59456437} = 7711 \text{ Ом}.$$

Струм в послідовному ланцюгу

$$i = \frac{U}{Z} = \frac{1}{7711} = 0,13 \text{ мА},$$

а напруга на резисторі згідно закону Ома

$$U = i \cdot R = 0,13 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 13 \text{ мВ}.$$

7.6. Фільтри електричних сигналів

Фільтри дозволяють обмежувати частотний спектр сигналу або пропускати сигнали в межах обмеженої смуги частот. На рис.7.6 зображені ідеальні та реальні амплітудно-частотні характеристики фільтрів.

Кожний фільтр характеризується частотою зрізу, яка вимірюється за умови, що потужність вихідного сигналу фільтру зменшилась на 50% (або на -3 дБ) у порівнянні з потужністю вхідного сигналу, тому частота зрізу називається частотою половинної потужності.

Ідеальний фільтр нижніх частот має нульовий коефіцієнт передачі на частотах вище частоти зрізу. На частотах нижче частоти зрізу фільтр пропускає сигнал без його послаблення.

Ідеальний фільтр високих частот не чинить впливу на амплітуди сигналів, що мають частоту вище частоти зрізу, і не пропускають більш низькочастотні сигнали, ніж частота зрізу.

Ідеальний смугопрускаючий фільтр не послаблює сигнали, частота яких знаходиться у інтервалі між його нижчою та вищою частотами зрізу. Для інших частот його коефіцієнт передачі дорівнює нулю.

Ідеальний смугозагороджуючий фільтр має коефіцієнт передачі, рівний нулю, для частот, що містяться в інтервалі між його нижньою та верхньою частотами зрізу. Сигнали всіх інших частот він пропускає без послаблення.

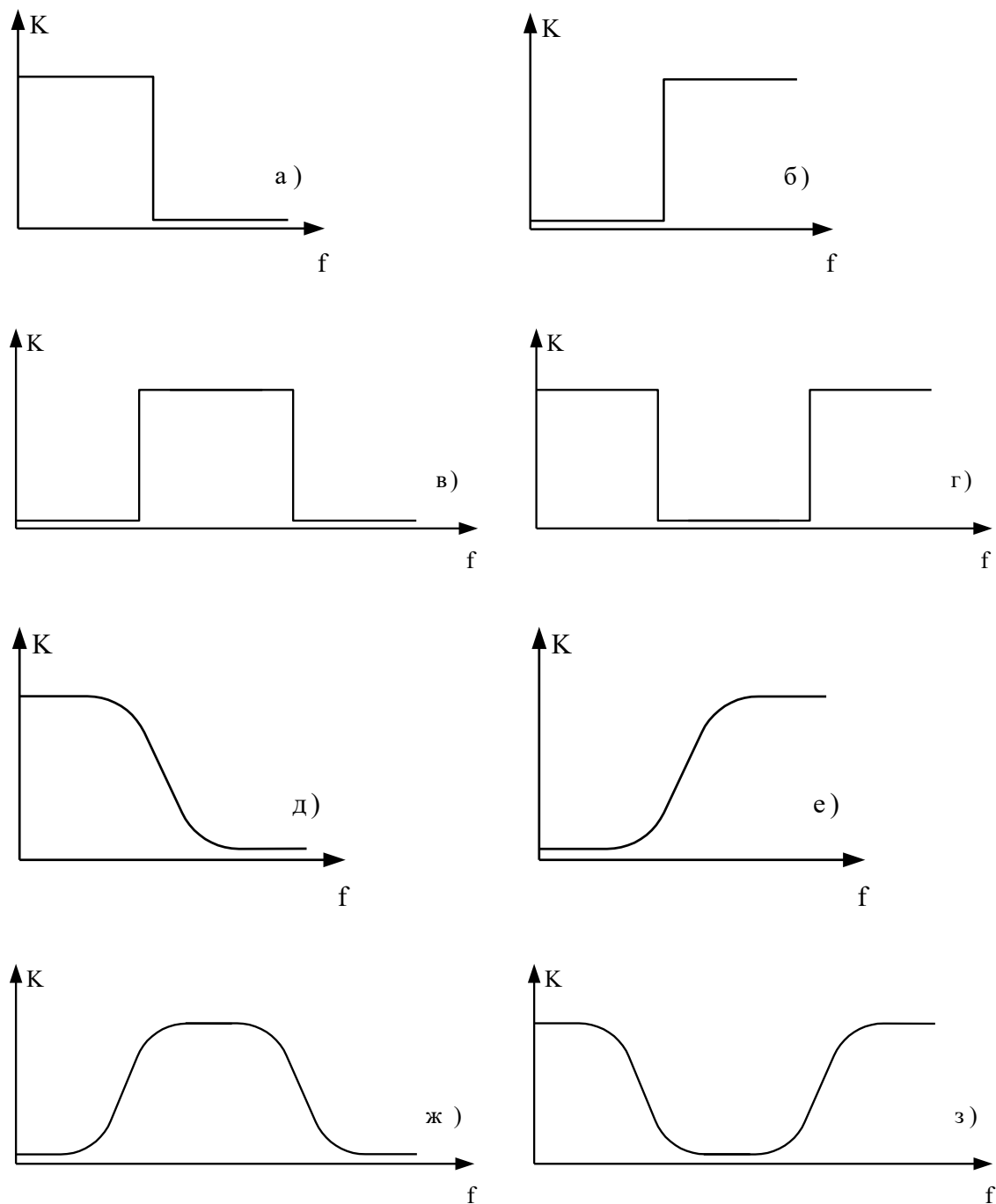


Рис.7.6. Амплітудно-частотні характеристики фільтрів: а-г — ідеальних; д-з — реальних; а, д — фільтр нижніх частот (ФНЧ); б, е — фільтр високих частот (ФВЧ), в, ж — смугопропускаючий фільтр (СПФ); г, з — смугозагороджуючий фільтр (СЗФ)

Таким чином, смугопропускаючий та смугозагороджуючий фільтри мають нижню f_1 та верхню f_2 частоти зрізу. Швидкість, з якою знижується або зростає коефіцієнт передачі фільтра, є показником його

якості. В ідеальному випадку перехід від максимального коефіцієнта передачі до мінімального повинен відбуватись миттєво. Реальний нахил амплітудно-частотної характеристики фільтра складає –20 дБ на декаду для пасивних фільтрів першого порядку, та –40 дБ на декаду для активних фільтрів другого порядку. Ширина смуги пропускання смугопр пропускаючих та смуго загороджуючих фільтрів визначається різницею $f_2 - f_1$.

Прототипи фільтрів. В найпростішому випадку фільтри електричних сигналів можуть бути реалізовані з допомогою LC-ланцюгів. Формули для розрахунків мають наступний вигляд.

Фільтр нижніх частот:

$$L = \frac{Z_0}{\pi f_C};$$

$$C = \frac{1}{\pi Z_0 f_C};$$

$$f_C = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}.$$

Фільтр високих частот:

$$L = \frac{Z_0}{4\pi f_C};$$

$$C = \frac{1}{4\pi Z_0 f_C};$$

$$f_C = \frac{1}{4\pi \sqrt{LC}}.$$

Смугопр пропускаючий фільтр:

$$L1 = \frac{1}{\pi} \times \frac{Z_0}{f_2 - f_1};$$

$$L2 = Z_0 \frac{f_2 - f_1}{4\pi f_1 f_2};$$

$$C1 = \frac{f_2 - f_1}{4\pi f_1 f_2 Z_0};$$

$$C2 = \frac{1}{\pi Z_0} \times \frac{1}{f_2 - f_1}.$$

Смугозагороджуючий фільтр:

$$L1 = Z_0 \frac{f_2 - f_1}{\pi f_1 f_2};$$

$$L2 = \frac{1}{4\pi} \times \frac{Z_0}{f_2 - f_1};$$

$$C1 = \frac{1}{4\pi Z_0} \times \frac{1}{f_2 - f_1};$$

$$C2 = \frac{f_2 - f_1}{\pi f_1 f_2 Z_0}.$$

У цих формулах: f_c — частота зрізу у фільтрах низьких та високих частот; f_1 та f_2 — нижня та вища частоти зрізу у смугопропускаючих та смугозагороджуючих фільтрах.

Характеристичний опір кожного фільтра

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Приклад 7.11. Необхідно спроектувати П-образний фільтр нижчих частот за наступними даними: характеристичний опір $Z_0=600$ Ом; частота зрізу 1 кГц.

Перш за все обираємо індуктивність 60 мГн та розраховуємо потрібне значення ємності. При цьому мається на увазі П-образна схема, що зображена, та розрахункові формули, що відносяться до неї.

$$C = \frac{1}{\pi Z_0 f_c} = \frac{1}{3,14 \times 600 \times 1 \times 10^3} = 0,53 \text{ мкФ}.$$

У П-образному варіанті фільтра кожний конденсатор має ємність, що дорівнює $2C$. Таким чином, потрібні два конденсатори ємністю 1,06 мкФ кожний, тобто можна поставити конденсатори ємністю 1 мкФ.

Слід зазначити, що промислові системи автоматичного керування технологічними процесами являються фільтрами нижніх частот. Вибір частоти зрізу залежить від частотного діапазону сигналу, який треба відтворити системою керування. Чим вище частота, тим краще відтворюється вхідний сигнал системи керування.

З другого боку на вхід системи керування потрапляють перешкоди, що визначаються точністю вимірювання, елементної бази та іншими чинниками. Для обмеження впливу вади частотний діапазон

фільтру треба обмежувати. Виникає протиріччя вибору оптимальної частоти зрізу по принципу — “поспішай повільно”. Вирішення такої задачі можливе в оптимальному по заданому критерію виборі найкращої структури системи регулювання.

Швидкість, з якою змінюється коефіцієнт передачі визначає якість регулювання. В ідеальному випадку перехід від максимального коефіцієнту передачі — одиничного в задачі відтворення сигналу до нульового повинен відбуватись миттєво. реальний нахил амплітудно-частотної характеристики складає 20 дБ на декаду в системах першого порядку і більше в системах вищого порядку. В задачі керування по критерію мінімуму середньоквадратичної помилки оптимальними являються форсовані системи керування.

Зауваження. При каскадному з’єднанні фільтрів крутизна зміни амплітудно-частотної характеристики збільшується. Наприклад, два послідовно з’єднаних пасивних фільтри першого порядку, кожен з яких має крутизну спаду характеристики 20 дБ на декаду, забезпечать результуючу характеристику зі спадом 40 дБ на декаду.

Для отримання потрібних параметрів слід використовувати високоточні та високостабільні конденсатори і котушки індуктивності. Для забезпечення необхідних характеристик фільтра потрібно ретельно продумати його конструкцію. В цьому випадку не обійтись без екранування окремих секцій фільтра з метою зменшення впливу паразитних ємностей та індуктивностей.

Розділ 8. Діоди

8.1. Характеристики діодів

Найбільш поширені напівпровідникові діоди виготовляють з германію або з кремнію та містять один $p-n$ -перехід. Як відомо, діод добре проводить струм в одному (прямому) напрямку та дуже погано — в другому (зворотньому). Щоб діод добре проводив, його треба ввімкнути в прямому напрямку. Для цього область p -типу, яка відіграє роль анода, через струмобмежуючий резистор з'єднується з позитивним полюсом джерела живлення, а область n -типу, яка відіграє роль катода, — з негативним. При зміні полярності джерела через діод протікає зворотній струм, який зневажливо малий у порівнянні з прямим струмом.

Під час протікання між анодом та катодом діода прямого струму виникає прямий спад напруги, який менший за 1 В. Зворотньо зміщений діод струму майже не проводить до тих пір, доки його зворотня напруга не перевищить допустиме порогове значення. В цьому режимі діод характеризується максимально допустимою повторюючоюся зворотньою напругою U_{RRM} , а також піковою зворотньою напругою U_{PIV} .

В табл.8.1 вказані значення прямої напруги діодів за різних значень прямого струму.

Таблиця 8.1. Прямі напруги діодів за різних значень прямого струму

Прямий струм, мА	Прямий спад напруги, В		
	Кремнієвий діод 4148	Кремнієвий діод 5401	Германієвий діод ОА91
0,01	0,43	—	0,12
0,1	0,58	0,55	0,26
1	0,65	0,60	0,32
10	0,75	0,65	0,43
100	—	0,72	—
1000	—	0,85	—

Германієві діоди характеризуються значно меншим прямим спадом напруги, ніж кремнієві діоди, за тих же самих значень прямого струму. Але у них більший зворотній струм, наприклад, 1 мкА у порівнянні з 10 нА для кремнієвого діода за зворотньої напруги 50 В.

Очевидно, що пряма гілка характеристики кремнієвого діода зростає значно крутіше, тобто його прямий динамічний опір набагато менший. Германієві діоди зараз використовуються здебільшого під час

детектування малих височастотних сигналів. В усіх інших випадках (випрямлячі змінного струму, імпульсні схеми різного призначення і т.ін.) віддають перевагу використанню кремнієвих діодів.

Потрібно сказати, що існує доволі умовний розподіл діодів на випрямляючі та імпульсні. Паспортні данні їх відрізняються, хоча часто вони взаємозамінні. Більш за все потрібні діоди швидкодіючі, з можливо меншою прямою напругою, більшою допустимою зворотною напругою та допустимим прямим струмом.

Для ефективного випрямлення змінного струму випрямляючі діоди з'єднують у схему, що зветься випрямляючий міст.

Маркування діодів. Європейська система класифікації напівпровідникових діодів являє собою буквенно-цифровий код, який містить дві літери та три цифри у випадку діодів загального призначення або три букви та дві цифри у випадку спеціальних діодів. Нижче подається розшифрування значень перших двох літер.

Перша літера: А — германій; В — кремній; С — арсенід галію; D — фотодіоди.

Друга літера: А — діод загального призначення; В — варікап; Е — тунельний діод; Р — фотоелемент; Q — світлодіод; Т — тиристор; Х — варактор; Y — потужний випрямляч; Z — стабілітрон.

У випадку діодів спеціального призначення третя літера не має сенсу. У позначенні стабілітрона мається додаткова буква (після номеру приладу), яка характеризує допуск на напругу пробою: А — $\pm 1\%$; АВ — $\pm 2\%$; С — $\pm 5\%$; D — $\pm 10\%$.

У позначенні стабілітрона маютьься додаткові символи, що позначають номінальне значення напруги пробою. Наприклад, 9 V означає, що напруга пробою дорівнює 9,1 В.

Приклад 8.1. Розшифруйте позначення діодів:

AA113 — германійовий діод загального призначення;

BB105 — кремнієвий діод, призначений для налаштування радіоапаратури (варікап);

BZY88C4V7 — кремнієвий стабілітрон з напругою пробою 4,7 В, $\pm 5\%$.

У табл.8.2–8.5 наведені параметри діодів різних типів.

Більшість мостових випрямлячів випускаються на напругу 200, 400 та 600 В.

Зауваження. Під час проектування випрямлячів потрібно зважати на спад напруги на провідних діодах. Наприклад, у мостовому випрямлячеві одночасно проводять два послідовно включених діода. На них втрачається близько 2 В. Ці втрати слід мати на увазі під час розрахунку вхідної змінної напруги випрямляча.

Таблиця 8.2. Параметри кремнієвих спрямляючих діодів

Тип діода	Вітчизняний аналог	$U_{звор.і}, В$	$I_{пр.сер}, А$	$U_{пр}, В$	$I_{звор}, мкА$	Тип корпусу
IN4001	КД226А, КД103	50	1	1,1	10	D041
IN4002	КД202Д, КД212Б	100	1	1,1	10	D041
IN4003	КД2020, КД212	200	1	1,1	10	D041
IN4004	КД243, КД209А	400	1	1,1	10	D041
IN4005	КД209Б, КД209Г	600	1	1,1	10	D041
IN4006	КД203Б	800	1	1,1	10	D041
IN4007	КД226Б, КД223, КД220Г	1000	1	1,1	10	D041
IN5400	—	50	3	1,1	10	D027
IN5401	—	100	3	1,1	10	D027
IN5402	КД227Б	200	3	1,1	10	D027
IN5404	—	400	3	1,1	10	D027
IN5406	—	600	3	1,1	10	D027
IN5407	—	800	3	1,1	10	D027
IN5408	—	1000	3	1,1	10	D027
BY126	—	650	1	1,1	10	D015
BY127	КД210В, КД209А	1250	1	1,1	10	D015
BY397	—	200	2	1,1	10	D015
BY399	—	800	2	1,1	10	D015

Таблиця 8.3. Параметри діодів загального призначення

Тип діода	Вітчизняний аналог	$U_{звор.і}, В$	$I_{пр.сер} мА$	$I_{звор}, мкА$	Тип корпусу	Примітки
IN4148	КД522А	100	75	0,025	D035	Кремній
IN914	КД521А	100	75	0,025	D035	“
IN916	КД521А	100	75	0,025	D035	“
AA113	Д101	60	10	0,2	D07	Германій
BAХ13	КД522А	50	75	0,2	D035	Кремній
BAХ16	КД416Б	150	200	0,1	D035	“
ОА200	Д220, КД103Б	50	80	0,1	D07	“
ОА202	—	150	40	0,1	D07	“
ОА47	—	25	110	100	D07	Германій
ОА91	—	115	50	275	D07	“
ОА95	Д7В	115	50	250	D07	“

Таблиця 8.4. Параметри радіочастотних детекторів

Тип діода	$U_{звор.i}, В$	$I_{пр.сер}, мА$	$I_{звор}, мкА$	Тип корпусу	Примітки
AA119	45	35	350	D035	Германій
BAR28	70	—	0,2	D035	Діод Шотткі
HSCH1001	60	15	0,2	D035	“
OA90	30	10	1100	D07	Германій

Таблиця 8.5. Параметри діодних випрямляючих мостів

Тип моста	Тип корпусу	Монтажна поверхня	$I_{max}, А$
V_m	Чотирихвиводний по два виводи в ряду	Друкована плата	0,9
DB	Те ж	Те ж	1
WO	Циліндр	“ ”	1
SKB2	Чотири виводи в лінію	“ ”	1,6
BR8	Те ж	“ ”	2
BR3	Квадратний	“ ”	3
KBRC	“	“ ”	Від 2 до 6
BR6	“	“ ”	6
BR15	Епоксидний	Охолоджувач	15
SKB25	“	“ ”	Від 6 до 35

Зворотній струм випрямляючих діодів збільшується із зростанням температури. Ця обставина знижує ефективність випрямляча, бо зменшується відношення прямого струму до зворотнього.

Робота діодів за значень прямих струмів та зворотніх напруг, близьких до гранично допустимих, значно знижує надійність випрямляча. Для підвищення надійності слід передбачати 50%-вий запас по напругам та струмам.

Діоди Шоткі мають приблизно у два рази менший прямий спад напруги та значно менший час запирання, ніж звичайні кремнієві діоди з р-п-переходом. Їх слід використовувати в низьковольтних сильно-струмних випрямлячах високоточних ключових джерел електроживлення.

8.2. Стабілітрони

Стабілітрон — це кремнієвий діод, що працює на зворотній гілці своєї вольт-амперної характеристики у режимі пробою. Ці прилади об'єднані в декілька груп в залежності від значення напруги пробою, розсіюваної потужності, типу корпусу і т.ін. Напруга пробою стабілітронів знаходиться у межах від 2,4 до 91 В.

Промисловість випускає наступні серії стабілітронів.

Серія BZY88. Прилади цієї серії випускаються у мініатюрному скляному корпусі, розрахованому на розсіювання потужності 500 мВт при 25°C. Їх напруга пробою знаходиться в межах від 2,7 до 15 В при струмові 5 мА і температурі 25°C.

Серія BZX55. Прилади цієї серії здатні розсіювати потужність 500 мВт за напруги пробою від 2,4 до 91 В.

Серія BZX61. Це сплавні діоди в корпусі, що розрахований на розсіювання потужності 1,3 Вт за 25°C у діапазоні напруг пробою від 7,5 до 72 В.

Серія BZX85. Прилади містяться у скляному корпусі, розрахованому на потужність 1,3 Вт у діапазоні напруг пробою від 5,1 до 62 В.

Серія BZY93. Діоди цієї серії випускаються у корпусі, закріпленому на головці болта, розрахованому на 20 Вт розсіюваної потужності за температури до 75°C. Напруги пробою знаходяться в межах від 9,1 до 75 В.

Серія BZY97. Діоди в корпусі з гнучкими виводами розраховані на розсіювання потужності 1,5 Вт за напруги пробою від 9,1 до 37 В.

Серія IN5333. Діоди випускаються у пластмасовому корпусі, розрахованому на потужність 5 Вт у діапазоні напруг від 3,3 до 24 В.

Стабілітрони звичайно випускаються у пластмасових або скляних корпусах, таких, які використовуються при виготовленні звичайних діодів аналогічної потужності. На корпусі стабілітрона поблизу катодного вивода наноситься кільцева смужка.

Нахил гілки вольт-амперної характеристики стабілітрона в режимі пробою характеризується диференційним опором. Останній визначається як відношення приросту напруги до приросту струму в режимі пробою. У ідеальному випадку цей опір дорівнює нулю (характеристика йде вертикально). Реальні прилади можуть в середньому мати диференційний опір 20 Ом.

Температурний коефіцієнт напруги (ТКН) характеризує зміну напруги пробою при відхиленні температури приладу на 1°C та вимірюється у мілівольтах на градус Цельсія (мВ/°C)*. У багатьох випадках, коли стабілітрон використовується для одержання опорної напруги, бажано мати ТКН як можна менший. У табл.8.6 наведені значення ТКН стабілітронів.

*У країнах СНД заведено вимірювати, на скільки відсотків від номінального значення зміниться напруга пробою при зміні температури приладу на 1 °C, %/°C.

Таблиця 8.6. Значення ТКН стабілітронів

Напруга пробою, В	Диферен- ційний опір, Ом	ТКН, мВ/°С	Напруга пробою, В	Диферен- ційний опір, Ом	ТКН, мВ/°С
2,7	100	–3,5	6,2	10	+0,4
3,3	95	–3,5	6,8	12	+1,2
3,9	90	–3,5	7,5	14	+2,5
4,7	80	–3,5	8,2	16	+3,2
5,1	60	–2,7	9,1	18	+3,8
5,6	40	–2	10	20	+4,5

Приклад 8.2. Для одержання опорної напруги використовується стабілітрон, маючий за 20°C $U_{\text{проб}}=9,1$ В та $\text{ТКН}=+4$ мВ/°С. Визначте максимальне та мінімальне значення напруги у абсолютних величинах та у відсотках до номінального значення, якщо температура оточуючого середовища змінюється від –10 до +40°C.

Максимальна напруга при +40°C

$$U_{\text{пробmax}}=9,1+(40-20)\cdot 0,004=9,1+0,08=9,18 \text{ В.}$$

Мінімальне значення напруги при –10°C

$$U_{\text{пробmin}}=9,1-(20+10)\cdot 0,004=9,1-0,12=8,98 \text{ В.}$$

Повний діапазон зміни температури оточуючого середовища дорівнює 50°C. Тому повна зміна напруги пробою складе $50\cdot 4=200$ мВ. Якщо номінальну напругу пробою 9,1 В прийняти за 100%, тоді мінімальне значення 8,98 В складе 98,7%, а максимальне 100,9%. Таким чином, у зазначених умовах напруга стабілізації зміниться на –1,3 та +0,9% від номіналу.

Зауваження. Для одержання більшої напруги стабілітрони можна з'єднувати послідовно. Наприклад, з'єднавши послідовно стабілітрони, що мають напругу пробою 6,8 та 9,1 В, одержимо результуючу напругу 15,9 В.

Необхідно стежити за значенням потужності, що розсіюється стабілітроном. Воно повинно бути не більше допустимої потужності.

Найкращу температурну стабільність мають стабілітрони, у яких напруга пробою від 5 до 6 В. У них також невеликий диференційний опір. Тому під час проектування джерел опорної напруги доцільно орієнтуватися саме на них. Якщо потрібні більші значення напруги, то треба використовувати спеціальні схемотехнічні пристрої.

Стабілітрони — джерела значної шумової напруги, що заважає праці пристроїв з великим коефіцієнтом посилення по напрузі. Для компенсації шуму слід паралельно стабілітрону ввімкнути два конденсатори ємністю 1 та 100 мкФ.

8.3.Тиристори

Тиристори (або кремнієві керовані випрямлячі) являють собою трьохелектродні прилади, які можна використовувати в якості регуляторів потужності мережі змінного або постійного струму. Тиристор досить швидко перемикається з непровідного в провідний стан. В непровідному стані крізь нього тече зневажливо малий струм. У провідному стані прилад має дуже незначний опір. Тому в ньому виділяється невелика потужність у порівнянні з потужністю, що передається тиристором у навантаження.

Ввімкнений тиристор залишається в провідному стані до тих пір, доки не зменшиться до деякого порогового значення його анодний струм. Під час роботи в ланцюгах з постійною напругою живлення анодного ланцюга для вимикання тиристора використовуються спеціальні схеми комутації. У випадку змінної анодної напруги природне вимикання тиристора діється при зміні фази цієї напруги.

При цьому вмикаючий сигнал повинен з'являтися в ланцюгу керуючого електроду синхронно зі змінами фази анодної напруги. Він являє собою імпульс струму визначеної амплітуди та тривалості.

В табл.8.7 приведені основні статичні параметри деяких широко розповсюджених типів тиристорів.

Зауваження. Тиристор вмикається імпульсним сигналом з крутим фронтом наростання, який в певний час подається на управляючий електрод.

Схема, що забезпечує керуючий струм тиристора, повинна мати можливо менший внутрішній опір.

Чим більше вмикаючий струм (але не більше допустимого значення), тим швидше вмикається тиристор та тим менше комутаційні втрати потужності в ньому.

Тривалість вмикаючого струму не слід робити більше необхідного значення для зменшення втрат потужності.

У ланцюгах змінного струму схема управління повинна забезпечувати максимальний діапазон регулювання куту затримки увімкнення тиристора.

Таблиця 8.7. Основні параметри тиристорів

Тип тиристора	$I_{\text{зал}}, \text{A}$	$U_{\text{звор. I}}, \text{B}$	$U_{\text{у., от}}, \text{B}$	$I_{\text{у., от}}, \text{kA}$	Тип корпусу
2N443	5,1	400	1,5	30	ТО220
2N4444	5,1	600	1,5	30	ТО220
BT106	1	700	3,5	50	Штирьовий
BT152	13	600	1	32	ТО220
BTX18-400	1	500	2	5	ТО5
BTY79-400R	6,4	400	3	30	Штирьовий
TIC106A	3,2	100	1,2	0,2	ТО220
TIC106B	3,2	200	1,2	0,2	ТО220
TIC106E	3,2	500	1,2	0,2	ТО220
BTY79-600R	6,4	600	3	30	Штирьовий
BTY79-800R	6,4	800	3	30	Штирьовий
TIC106-C	3,2	300	1,2	0,2	ТО220
TIC106-D	3,2	400	1,2	0,2	ТО220
TIC106-M	3,2	600	1,2	0,2	ТО220
TIC106-S	3,2	700	1,2	0,2	ТО220
TIC106-N	3,2	800	1,2	0,2	ТО220
TIC116A	5	100	2,5	20	ТО220
TIC116B	6	200	2,5	20	ТО220
TIC116C	5	300	2,5	20	ТО220
TIC116D	5	400	2,5	20	ТО220
TIC116E	5	500	2,5	20	ТО220
TIC116M	5	600	2,5	20	ТО220
TIC116S	5	700	2,5	20	ТО220
TIC116N	5	800	2,5	20	ТО220
TIC126A	7,5	100	2,5	20	ТО220
TIC126B	7,5	200	2,5	20	ТО220
TIC126C	7,5	300	2,5	20	ТО220
TIC126D	7,5	400	2,5	20	ТО220
TIC126E	7,5	500	2,5	20	ТО220
TIC126M	7,5	600	2,5	20	ТО220
TIC126S	7,5	700	2,5	20	ТО220
TIC126N	7,5	800	2,5	20	ТО220
TICP106D	2	400	1	0,2	ТО92
TICP106M	2	600	1	0,2	ТО92

Симетричні тиристори. Ці прилади у ввімкненому стані здатні проводити струм в продовж як позитивного, так і негативного напівперіода змінної живлячої напруги. Симетричний тиристор може бути ввімкнений як позитивним, так і негативним сигналом, поданим на його керуючий електрод.

Ланцюг управління симетричного тиристора інколи містить симетричний динистор, що вмикається при напрузі ± 32 В.

У табл. 8.8 вказані статичні параметри декотрих типів симетричних тиристорів.

Таблиця 8.8. Параметри симетричних тиристорів

Тип тиристора	I_{oc} , А	$U_{обр.макс}$, В	$U_{y.от}$, В	$I_{y.от}$, мА	Тип корпусу
BT139	15	600	1,5	5	ТО220
T1C206M	4	600	2	5	ТО220
T1C216M	6	600	3	5	ТО220
T1C225M	8	600	2	20	ТО220
T1C226M	8	600	2	50	ТО220
T1C236M	12	600	2	50	ТО220
T1C246M	16	600	2	50	ТО220
T1CP206	1,5	40	2,5	2,5	ТО92
T1CP206M	1,5	600	2,5	2,5	ТО92

Зауваження. При перемиканні різного роду тиристорів виникають високочастотні шуми та перешкоди, які розповсюджуються по підводячим струм дротам мережі. Ці перешкоди заважають роботі іншого електронного устаткування. Для придушення перешкод використовуються LC-фільтри.

8.4.Світлопроменеві діоди

Світлодіоди використовуються як індикатори спільного використання, які потребують значно меншу потужність ніж лампи накаливання. Вони дають задовільне випромінювання при прямих струмах від 5 до 20 мА. Світлодіоди частіше всього виробляються в круглих пластмасових корпусах діаметром 3 або 5 мм або в прямокутному 5×2 мм корпусі. Кут зору у випадку круглого корпусу знаходиться у межах від 20° до 40° , а у випадку прямокутного корпусу він зростає до 100°. У табл. 8.9 наведені параметри різних світлодіодів.

Таблиця 8.9. Параметри світлодіодів

Параметр	Тип світлодіодів			
	Стандарт-ний	Стандарт-ний	Високоэффек-тивний	Високоінтен-сивний
Діаметр, мм	3	5	5	5
Максимальний прямий струм, мА	40	30	30	30
Типове значення прямого струму, мА	12	10	7	10
Типове значення прямої напруги, В	2,1	2,0	1,8	2,2
Максимальна зворотна напруга, В	5	3	5	5
Максимальна розсіювана потужність, мВт	150	100	27	135
Довжина волни випромінювання, нм	690	635	635	635

Для обмеження прямого струму послідовно зі світлодіодом в ланцюг вмикається резистор. Необхідний опір резистора знаходиться із співвідношення:

$$R = \frac{U - U_F}{I},$$

де U_F — пряма напруга на діоді що проводить;

U — напруга джерела живлення.

У табл. 8.10 наведені орієнтовні значення опорів послідовно увімкнених резисторів для різних типів світлодіодів.

Приклад 8.3. Розрахуйте опір резистора, увімкненого послідовно із світлодіодом, який використовується для індикації мережі постійної напруги 21 В. Пряме падіння напруги на світлодіоді дорівнює 2,2 В при струмі 15 мА.

В цьому випадку опір дорівнює

$$R = \frac{U - U_F}{I} = \frac{21 - 2,2}{15 \cdot 10^{-3}} = 1,25 \text{ кОм.}$$

Найближче стандартне значення опору резистора дорівнює 1,2 кОм. Розсіювана резистором потужність

$$P = I(U - U_F) = 15 \cdot 18,8 = 280 \text{ мВт.}$$

Тобто слід обрати резистор, розрахований на потужність 0,33 Вт або більше.

Таблиця 8.10. Опір послідовно увімкнених резисторів

Живлюча напруга, В	Опір резисторів, Ом		
	малопотужних, $I_n=5$ мА	стандартизованих, $I_{np}=10$ мА	потужних, $I_{np}=20$ мА
3	220	180	56
5	680	270	150
6	820	390	220
9	1500	680	390
12	2200	1000	560
15	2700	1200	680
18	3300	1500	820
24	4700	2200	1200

Зауваження. Зворотня напруга 5 В може вивести світлодіод з ладу.

При живленні електронного устаткування від автомобільного акумулятора слід вибирати світлодіоди мінімальної потужності для збереження ресурса акумулятора.

Якщо у вас декілька світлодіодів, то їх краще вмикати послідовно, а не паралельно, для того щоб яскравість світла була однаковою. Але це можливо тільки тоді, коли живлюча напруга достатньо велика. Жовті та зелені світлодіоди мають меншу світловіддачу, ніж червоні. Тому для вирівнювання інтенсивності світла доцільно вмикати в їх ланцюги резистори з різними опорами (різниця складає 10–15%).

Розділ.9. Транзистори

9.1. Типи транзисторів

Слово "транзистор" включає два: transfer та resistor, що означає "передаючий резистор". Зміст полягає в тому, що можна керувати струмом, який проходить в одному ланцюзі (вихідному), за допомогою струму, який тече в іншому ланцюзі (вхідному). Так як транзистор — трьохелектродний прилад, один з його електродів завжди буде загальним для обох ланцюгів.

Транзистори відрізняються по принципу дії: вони бувають біполярними (керовані струмом) та уніполярні або польові (керовані напругою); виготовляються з різноманітних матеріалів (германію або кремнію) та характеризуються різними галузями використання (загального призначення, перемикаючі, генераторні, низькочастотні, високочастотні та ін.).

Низькочастотні транзистори — прилади, що призначені для роботи на частотах не більше 100 кГц.

Високочастотні транзистори — прилади, які призначені для роботи на частотах більше 100 кГц.

Потужні транзистори — це прилади, які призначені для передачі у навантаження значної електричної потужності. Звичайно виділяються прилади, які працюють у діапазоні звукових частот та радіочастот.

Перемикаючі транзистори — це прилади, які призначені для роботи в імпульсних приладах.

Малощумлячі транзистори — це прилади, які призначені для роботи у вхідних каскадах підсилювачів малих сигналів.

Високовольтні транзистори — це прилади, які призначені для роботи у ланцюгах високої напруги.

Маркіровка транзисторів. У відповідності з європейською системою класифікації позначення транзистора складається з двох літер та трьох цифр (прилади загального призначення) або з трьох літер та двох цифр (прилади спеціального призначення). Перша літера характеризує матеріал, з якого зроблено транзистор: А — германій, В — кремній. Друга літера позначає галузь використання приладу: С — малопотужний низькочастотний прилад; D — потужний низькочастотний прилад; F — малопотужний високочастотний прилад; L — потужний високочастотний прилад. Третя літера в позначенні транзисторів спеціального призначення не несе змістовного навантаження.

Приклад 9.1. Транзистор AF115 — загального призначення, германієвий, малопотужний, високочастотний.

Транзистор BC108 — загального призначення, кремнієвий, малопотужний, низькочастотний.

Транзистор BD135 — загального призначення, кремнієвий, великої потужності, низькочастотний.

Транзистор BEY50 — спеціального призначення, кремнієвий, малопотужний, високочастотний.

9.2. Біполярні транзистори

Біполярні транзистори можуть бути виготовлені з кремнію або германію і у відповідності з чергуванням шарів напівпровідника бувають $p-n-p$ або $n-p-n$ -типів. В будь-якому випадку електроди називаються база, емітер та колектор. Кремнієві транзистори мають значно кращу температурну стабільність у порівнянні з германієвими приладами та використовуються у більшості випадків.

Шар напівпровідника, який відповідає базі транзистора, знаходиться між шарами емітера та колектора. Він принципово має дуже малу ширину в порівнянні з довжиною вільного пробігу електрона. Струм бази дуже малий в порівнянні зі струмами емітера та колектора. Відношення цих струмів дорівнює кільком десяткам. У транзистора $n-p-n$ -типу напруга колектор-емітер та база-емітер позитивні, а у транзистора $p-n-p$ -типу — негативні.

В транзисторі завжди виконується співвідношення:

$$I_E = I_B + I_C,$$

де I_E — струм емітера;

I_B — струм бази;

I_C — струм колектора.

Параметри біполярного транзистора. Співвідношення струмів транзистора є мірою його ефективності як підсилювача сигналу. Частіш за все коментуються параметри, які відносяться до ввімкнення транзистора з загальним емітером. У цьому випадку вхідним параметром є струм бази, а вихідним параметром — струм колектора.

Коефіцієнт підсилення струму у схемі ввімкнення з загальним емітером:

$$h_{FE} = I_C / I_B.$$

У даному випадку h_{FE} — це гібридний параметр, який характеризує підсилення струму при наявності великого сигналу (відношення постійних складових), а I_C та I_B — відповідно струми колектора та бази. Малосигнальний коефіцієнт підсилення струму h_{fe} дорівнює відношенню приростів ΔI_C та ΔI_B , тобто

$$h_{fe} = \Delta I_C / \Delta I_B.$$

Для отримання великих значень коефіцієнта підсилення струму, використовується з'єднання транзисторів за схемою Дарлінгтона. У цьому випадку вдається отримати підсилення струму до декількох тисяч.

Іншими найважливішими параметрами транзистора є :

I_{Cmax} — максимальний струм колектора;

U_{CE0} — максимальна напруга між колектором та емітером при розімкненому ланцюзі бази транзистора;

U_{CB0} — максимальна напруга між колектором та базою при розімкненому ланцюзі емітера;

U_{CER} — максимальна напруга між колектором та емітером при заданому опорі R між базою та емітером;

P_{Cmax} — максимальна потужність, розсіювана транзистором;

f_T — частота, на котрій $h_{fe}=1$.

Характерні значення міжелектродних напруг транзистора. У всіх схемах лінійних підсилювачів напруги (або струму), наприклад, в усіх підсилювачах звуковідтворюючих приладів, транзистори працюють у лінійному режимі. При цьому в ланцюзі протікають постійні струми електродів, які мають певне середнє значення, наприклад, яке дорівнює половині можливого максимального значення.

Напруга між базою та емітером кремнієвого транзистора складає приблизно 0,6 В (у германієвого транзистора 0,1 В). У випадку $n-p-n$ -транзистора колектор та база позитивні відносно емітера, а у $p-n-p$ -транзистора вони негативні.

У табл. 9.1—9.9 наведені параметри транзисторів різних типів.

Приклад 9.2. Струм емітера транзистора дорівнює 98 мА, а струм колектора 97 мА. Розрахуйте струм бази та h_{FE} . Основне співвідношення струмів у транзисторі записується таким чином:

$$I_E = I_B + I_C$$

Тому $I_B = I_E - I_C = 98 - 97 = 1$ мА,

$$h_{FE} = \frac{97}{1} = 97.$$

Таблиця 9.1. Параметри біполярних транзисторів

Тип приладу	Вітчизняний аналог	Тип провідності	Функція, яка виконується	Комплекментарний транзистор	Тип корпусу
1	2	3	4	5	6
2N2219A	КТ928Б	<i>n-p-n</i>	Перемикаючий	MT955	ТО39
2N2222A	КТ3117	<i>n-p-n</i>	Перемикаючий		ТО18А
2N2369A	КТ633	<i>n-p-n</i>	Радіочастотний підсилювач		ТО18А
2N2905	КТ662	<i>p-n-p</i>	Пермикаючий		ТО5
2N2926	-----	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО98
2N3053	КТ630Д	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО5
2N3054	КТ830А	<i>n-p-n</i>	Середньої потужності		ТО66
2N3055	КТ819ГМ	<i>n-p-n</i>	Великої потужності		ТО3А
2N3702	КТ345Б	<i>p-n-p</i>	Загального призначення		ТО92А
2N3703	-----	<i>p-n-p</i>	Загального призначення		ТО92А
2N3866	-----	<i>n-p-n</i>	Радіочастотний підсилювач	2N3906 2N3904	ТО5
2N3903	КТ375А	<i>n-p-n</i>	Перемикаючий		ТО92С
2N3904	КТ375Б	<i>n-p-n</i>	Перемикаючий		ТО92С
2N3906	КТ375Г	<i>p-n-p</i>	Перемикаючий	BC117 BC178 BC179 BC143 BC142 BC107 BC108 BC109 BC212L BC214L BC182L BC184L BC337 BC327 BC461 BC441 BC557 BC558 BC559 BC547 BC548 BC549	ТО92С
2N4427	-----	<i>n-p-n</i>	Радіочастотний підсилювач		ТО5
2N5401	-----	<i>p-n-p</i>	Високовольтний		ТО92С
2N706	КТ340В	<i>n-p-n</i>	Перемикаючий		ТО18А
BC107	КТ342А	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО18А
BC108	КТ342Б	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО18А
BC109	КТ342В	<i>n-p-n</i>	Малосигнальний		ТО18А
BC117	-----	<i>n-p-n</i>	Високовольтний		ТО39
BC142	КТ640Г	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО39
BC143	КТ933Б	<i>p-n-p</i>	Передпідсилювач		ТО39
BC177	КТ3107А	<i>p-n-p</i>	Передпідсилювач	BD132 BD131	ТО18А
BC178	КТ349В	<i>p-n-p</i>	Загального призначення		ТО18А
BC179	КТ3107Е	<i>p-n-p</i>	Малосигнальний		ТО18А
BC182L	КТ3102Б	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО92А
BC184L	КТ3102Д	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО92А
BC212L	КТ3107К	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО92А
BC214L	-----	<i>p-n-p</i>	Загального призначення		ТО92АТ
BC237	КТ3107Б	<i>p-n-p</i>	Передпідсилювач		ТО92В
BC337	-----	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО92В
BC441	-----	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО39
BC461	-----	<i>p-n-p</i>	Передпідсилювач		ТО39
BC478	-----	<i>p-n-p</i>	Загального призначення		ТО18А
BC547	КТ3102Б	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО92В
BC548	КТ3102В	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО92В
BC549	КТ3102Д	<i>n-p-n</i>	Малосигнальний		ТО92В
BC557	КТ361Д	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО92В
BC558	КТ3107Д	<i>p-n-p</i>	Загального призначення		ТО92В
BC559	КТ3107Ж	<i>p-n-p</i>	Малосигнальний		ТО92В
BCY70	КТ3107А	<i>p-n-p</i>	Загального призначення		ТО18А
BD131	КТ943В	<i>n-p-n</i>	Середньої потужності		ТО126

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6
BD132	КТ932Б	<i>n-p-n</i>	Середньої потужності		ТО126
BF180	-----	<i>n-p-n</i>	Радіочастотний підсилювач		ТО72А
BF258	КТ940Б	<i>n-p-n</i>	Високовольтний		ТО5
BF259	КТ604Б	<i>n-p-n</i>	Високовольтний		ТО5
BF337	КТ604Б	<i>n-p-n</i>	Високовольтний		ТО39
BFY50	КТ630Г	<i>n-p-n</i>	Передпідсилювач		ТО39
BFY51	КТ630Д	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО39
BFY52	КТ630Д	<i>n-p-n</i>	Загального призначення		ТО39
BFY90	КТ399А	<i>n-p-n</i>	Радіочастотний підсилювач		ТО72В
BSX20	-----	<i>n-p-n</i>	Перемикаючий 2N2369А		ТО18А
MJ11015	-----	<i>p-n-p</i>	Потужний складовий транзистор	MJ11016	ТО3А
MJ11016	-----	<i>n-p-n</i>	Потужний складовий транзистор	MJ11015	ТО3А
MJ2501	КТ825Г	<i>p-n-p</i>	Потужний складовий транзистор		ТО3А
MJ2955	-----	<i>p-n-p</i>	Великої потужності	MJ3001	ТО3А
MJ3001	КТ827Б	<i>n-p-n</i>	Потужний складовий транзистор	2N3055	ТО3А
TIP121	-----	<i>n-p-n</i>	Потужний складовий транзистор	MJ2501	ТО220А
TIP126	-----	<i>p-n-p</i>	Потужний складовий транзистор	TIP126	ТО220А
TIP132	-----	<i>n-p-n</i>	Потужний складовий транзистор	TIP121	ТО220А
TIP137	-----	<i>p-n-p</i>	Потужний складовий транзистор	TIP137	ТО220А
TIP141	-----	<i>n-p-n</i>	Потужний складовий транзистор	TIP132	ТАВ-А
TIP146	-----	<i>p-n-p</i>	Потужний складовий транзистор	TIP146	ТАВ-А
TIP2955	-----	<i>p-n-p</i>	Великої потужності	TIP141	ТАВ-А
TIP3055	-----	<i>n-p-n</i>	Великої потужності	TIP3055	ТАВ-А
TIP31А	КТ817Б	<i>n-p-n</i>	Потужний	TIP2955	ТО220А
TIP32А	КТ816Б	<i>p-n-p</i>	Потужний	TIP32А	ТО220А
TIP41А	КТ819Б	<i>n-p-n</i>	Потужний	TIP31А	ТО220А
TIP42А	-----	<i>p-n-p</i>	Потужний	TIP42А	ТО220А
ZTX108	-----	<i>n-p-n</i>	Загального призначення	TIP41А	E-line
ZTX300	-----	<i>n-p-n</i>	Загального призначення	ZTX500	E-line
ZTX500	-----	<i>p-n-p</i>	Загального призначення	ZTX300	E-line

Таблиця 9.2. Параметри *n-p-n*-транзисторів загального призначення

Тип приладу	I_{Cmax} , мА	U_{CE0} , В	U_{CB0} , В	P_{Cmax} , Вт	h_{fe}	Струм I_C , мА	f_T , МГц
2N2926	0,1	18	18	0,2	200	2	200
BC108	0,1	20	30	0,3	125	2	250
BC182	0,2	50	60	0,3	225	2	150
BC184	0,2	30	45	0,3	250	2	150
BC548	0,1	30	30	0,625	250	2	300
BFY51	1	30	60	0,8	—	—	50
BFY52	1	20	40	0,8	—	—	50
ZTX108	0,1	20	30	0,2	300	2	300
ZTX300	0,5	25	25	0,3	150	10	150

Таблиця 9.3. Параметри $p-n-p$ -транзисторів загального призначення

Тип приладу	I_{Cmax} , мА	U_{CE0} , В	U_{CB0} , В	P_{Cmax} , мВт	h_{fe}	Струм I_C , мА	f_T , МГц
2N3702	0,2	25	40	360	—	—	100
2N3703	0,5	30	50	300	125	2	100
BC178	0,1	25	30	300	125	2	200
BC212	0,2	50	60	300	200	2	200
BC214	0,2	30	45	300	225	2	200
BC478	0,05	40	40	360	175	2	150
BC558	0,1	45	50	625	250	2	360
BCY70	0,2	40	50	360	150	2	200
ZTX500	0,5	25	25	300	150	10	150

Таблиця 9.4. Параметри малосигнальних транзисторів

Тип приладу	I_{Cmax} , мА	U_{CE0} , В	P_{Cmax} , мВт	h_{fe}	Струм I_C , мА	F_T , МГц
BC109	100	20	360	250	2	250
BC179	100	20	300	240	2	200
BC549	100	30	625	250	2	300
BC559	100	30	625	250	2	250

Таблиця 9.5. Параметри перемикаючих транзисторів

Тип приладу	I_{Cmax} , мА	U_{CE0} , В	U_{CB0} , В	P_{Cmax} , мВт	h_{femin}	h_{femax}	f_T , МГц
2N2219A	800	40	75	800	75	—	300
2N2222A	800	40	75	500	35	—	250
2N2905	600	40	60	600	150	300	200
2N3903	200	40	60	350	50	150	250
2N3904	200	40	60	310	100	300	300
2N3906	200	40	40	310	100	300	250
2N706	20	20	25	300	—	—	200
BSX20	500	15	40	360	—	—	50

Таблиця 9.6. Параметри радіочастотних транзисторів

Тип приладу	I_{Cmax} , мА	U_{CE0} , В	P_{Cmax} , Вт	h_{fe}	Струм I_C , мА	f_T , МГц
2N2369A	200	15	0,36	—	—	500
2N3866	400	30	3	105	50	700
2N4427	500	20	2,5	100	100	500
BF180	20	20	0,15	100	10	650
BFY90	50	15	0,2	—	—	1400

Таблиця 9.7. Параметри транзисторів попередніх підсилювачів

Тип приладу	I_{Cmax} , А	U_{CE0} , В	U_{CB0} , В	P_{Cmax} , Вт	h_{femin}	h_{femax}	f_T , МГц
2N3053	0,7	40	60	0,8	125	250	100
BC107	0,1	45	50	0,36	110	450	250
BC142	0,8	60	80	0,8	20	250	80
BC143	0,8	60	60	0,8	25	250	160
BC177	0,1	45	50	0,3	125	500	200
BC327	0,5	45	50	0,625	100	600	260
BC337	0,5	45	50	0,625	100	600	200
BC441	1	60	75	1	40	250	50
BC461	1	60	75	1	40	250	50
BC547	0,1	45	50	0,625	110	800	300
BC557	0,1	45	50	0,625	110	800	320
BFY50	1	35	80	0,8	30	—	60

Таблиця 9.8. Параметри потужних транзисторів

Тип приладу	I_{Cmax} , А	U_{CE0} , В	U_{CB0} , В	P_{Cmax} , Вт	h_{femin}	h_{femax}	f_T , МГц
2N3054	4	55	90	29	25	—	1
2N3055	15	60	100	115	20	70	1
BD131	3	45	70	15	20	150	60
BD132	3	45	45	15	20	60	60
MJ2955	15	60	100	150	20	70	4
TIP2955	15	60	100	90	5	30	8
TIP3055	15	60	100	90	5	30	8
TIP31A	3	60	60	40	10	60	8
TIP32A	3	60	60	40	10	40	8
TIP41A	6	60	60	65	15	—	3
TIP42A	6	60	60	65	15	—	3

Таблиця 9.9. Параметри складових транзисторів

Тип приладу	I_{Cmax} , А	U_{CE0} , В	U_{CB0} , В	P_{Cmax} , Вт	h_{femin}	f_T , МГц
MJ1105	30	120	120	200	2000	—
MJ1106	30	120	120	200	2000	—
MJ2501	10	80	80	150	1000	1
MJ3001	10	80	80	150	1000	1
TIP121	5	80	80	65	1000	1
TIP126	5	80	80	65	1000	1
TIP132	8	100	100	70	1000	1
TIP137	8	100	100	70	1000	1
TIP141	10	80	80	125	1000	1
TIP146	10	80	80	125	1000	1

Приклад 9.3. Транзистор передбачається використовувати для регулювання струму навантаження 1,5 А за допомогою керуючого струму 30 мА. Визначити потрібне значення h_{FE} транзистора.

Отримаємо

$$h_{FE} = \frac{1500}{30} = 50.$$

Приклад 9.4. Транзистор працює у режимі лінійного підсилювача. Відомо, що його $h_{fe}=175$, $h_{FE}=200$, постійний струм колектора $I_C=10$ мА. Розрахуйте постійний струм бази та зміну струму колектора при коливанні струму бази на 10 мкА.

Постійний струм зміщення бази

$$I_B = I_C / h_{FE} = 10 / 200 = 0,05 \text{ мА}.$$

$$\Delta I_C = \Delta I_B \cdot h_{fe} = 0,01 \cdot 175 = 1,75 \text{ мА}.$$

Зауваження. Коефіцієнт підсилення струму h_{fe} дуже залежить від струму колектора. У малопотужних транзисторах його максимальне значення знаходиться у межах від 1 до 10 мА. Особливо сильно значення цього коефіцієнту знижується у потужних транзисторах при значних струмах.

Більшість параметрів транзистора (особливо h_{fe}) значно змінюються від екземпляра до екземпляра. Тому для надійної роботи схеми дуже важливо розрахувати їх таким чином, щоб її характеристики слабо залежали від параметрів транзисторів, або визначити найгірший варіант сполучення параметрів та спроектувати працездатну схему саме для цього випадку.

Для того, щоб максиміально використовувати частотні можливості транзистора, тобто працювати на частотах, близьких до f_T , слід застосовувати схему ввімкнення з загальною базою.

Слід також мати на увазі, що припустима потужність, яка виділяється на колекторному переході транзистора, лінійно знижується до нуля при 100°C після того, як температура колекторного переходу починає перевищувати 40°C.

9.3. Польові транзистори

Польовий транзистор з керуючим p – n -переходом має три електроди: витік, стік та затвор. Якщо на затворі відсутня напруга, а на стік подана позитивна напруга відносно витоку, то між витоком та стоком кризь n -канал тече максимальний струм.

Для того щоб його змінити, на затвор подають негативну напругу відносно витока. При цьому p - n -перехід між областями затвору та каналу зміщується у зворотньому напрямку. Область p - n -переходу тим ширше, чим більше зворотня напруга. Поширюється він у бік каналу, тому одночасно сам канал звужується, опір його зростає і струм між стоком та витком зменшується.

Польовий транзистор з ізольованим затвором включає метал-діелектрик-напівпровідник (МДН). Якщо на затвор цього приладу не подана позитивна напруга, то канал між витком та стоком відсутній, струм дорівнює нулю. Канал утворюється при подачі деякої мінімальної напруги на затвор (порогова напруга). Потім опір каналу зменшується при збільшенні напруги на затворі.

Обидва розглянутих прилада керуються напругою (а не струмом, як біполярні) та мають великий вхідний опір. Так польовий транзистор з керуючим p - n -переходом має вхідний опір до 100 МОм, а МДН-транзистор — до 10000 МОм. МДН-транзистори характеризуються невеликим опором стік-виток у ввімкненому стані та невеликим опором у вимкненому стані, тому вони добре працюють у ключовому режимі.

МДН-транзистори виготовляються зі вбудованим та індукційним каналами. На приладах першого типу канал технологічно утворюється заздалегідь. Тому при прикладенні напруги до стоку відносно витоку у ланцюзі відразу ж тече струм стоку. Його значення можна зменшити за рахунок керуючої напруги затвору. При цьому канал збіднюється носіями та його опір зростає.

На приладах другого типу заздалегідь вбудованого каналу не існує, тому відсутній струм стоку при нульовій напрузі на затворі. Канал у них утворюється при достатньо великій напрузі на затворі, тобто він збагачується носіями.

Параметри польових транзисторів. Підсилювальні властивості польового транзистора визначаються відношенням приросту струму стоку до напруги затвір-стік, яка його викликала, тобто

$$g_{fs} = \Delta I_d / \Delta U_{GS}.$$

Це співвідношення прийнято називати крутизною приладу, а в дійсності воно являється передаточною провідністю, та вимірюється у міліамперах на вольт (мА/В).

Інші найважливіші параметри польових транзисторів приведені нижче:

$I_{D\ max}$ — максимальний струм стоку;

$U_{DS\ max}$ — максимальна напруга затвор-виток;

$P_{D\ max}$ — максимальна потужність, котра може виділятися приладом;
 $t_{r\ min}$ — типовий струм зростання струму стоку при ідеально прямокутній формі сигналу на затворі;
 $t_{f\ min}$ — типовий час спаду струму стока при ідеально прямокутній формі сигналу на затворі;
 $R_{DS\ (on)\ max}$ — максимальне значення опору витік-стік у ввімкненому стані.

Напруга зміщення у польовому транзисторі. Як у випадку біполярних транзисторів, для забезпечення лінійного режиму роботи польового транзистора необхідно задати початкове зміщення його електродів. Полярність напруги зміщення може бути різною в залежності від типу прилада. Напруга зміщення діє між затвором та витоком транзистора. В ланцюзі стоку тече постійний струм, який відповідає заданому зміщенню, котре у різних приладів може знаходитись у межах від $-2,5$ до $+2,5$ В. Параметри різних польових транзисторів приведені у табл. 9.10–9.15.

Приклад 9.5. Струм стоку польового транзистора дорівнює 100 мА при напрузі затвір-витік — 1 В. Крутизна приладу 250 мА/В. Визначити зміну струму стоку, якщо напруга на затворі дорівнює — 1,1 В.

Зміна струму стоку ΔI_D дорівнює добутку крутизни на зміну напруги затвор-витік. Тобто

$$\Delta I_D = g \cdot \Delta U_{DS} = 250 \times 0,1 = 25 \text{ мА.}$$

Приклад 9.6. МДН-транзистор використовується для перемикання струму $I_L = 12$ А. Транзистор може розсіювати потужність не більше 75 Вт. Визначте потрібне значення опору транзистора у ввімкненому стані $R_{DS\ (on)}$.

Розсіювана у транзисторі потужність:

$$P_D = (I_L)^2 \cdot R_{DS\ (on)}.$$

Тоді

$$R_{DS\ (on)} = P_{D\ max} / (I_L)^2 = 75 / (12)^2 = 0,52 \text{ Ом.}$$

Для надійної роботи пристрою слід вибрати транзистор з трохи меншим значенням прямого опору. Нарикує, влаштує транзистор типу IRF530, який має прямий опір 0,2 Ом.

Таблиця 9.10. Загальна характеристика польових транзисторів

Тип приладу	Вітчизняний аналог	Технологія	Тип каналу	Призначення приладу	Еквівалент	Комплекментарний прилад	Корпус
1	2	3	4	5	6	7	8
2SJ150	—	МДН	<i>P</i>	Підсилювач потужності	2SJ56	2SK135	ТО3В
2SJ56	—	МДН	<i>P</i>	звукової частоти	2SJ50	2SK176	ТО3В
2SK135	—	МДН	<i>n</i>			2SK50	ТО3В
2SK176	—	МДН	<i>n</i>		2SK176	2SK56	ТО3В
2N3819	КП303Г	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Загального призначення	2SK135	2N3820	ТО92D
	КП302Б		<i>n</i>			2N3819	
2N3820	—	<i>p-n</i>	<i>P</i>	" "			ТО92D
2N4092	КП905А	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Перемикаючий			ТО18В
2N4118	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Загального призначення			ТО72D
2N4220	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Малощумлячий			ТО72С
2N4351	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Перемикаючий			ТО72D
2N4391	КП914	<i>p-n</i>	<i>n</i>	" "	2N4392		ТО18В
2N4392	КП914	<i>p-n</i>	<i>n</i>	" "	2N4391		ТО18В
2N4393	КП333	<i>p-n</i>	<i>n</i>	" "	2N4392		ТО18В
2N4416	КП323	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Радіочаст. підсилювач			ТО72С
2N4858	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Перемикаючий			ТО18D
2N4861	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	" "			ТО18С
2N5457	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Загального призначення			ТО92Е
2N5460	—	<i>p-n</i>	<i>P</i>	Малощумлячий	2N5461		ТО92Е
2N5461	—	<i>p-n</i>	<i>P</i>	" "	2N5460		ТО92Е
2N5486	—	<i>p-n</i>	<i>N</i>	Радіочаст. підсилювач			ТО92Е
2N7000	—	МДН	<i>n</i>	Перемикаючий			ТО92D
2N7007	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО92D
2N7010	—	МДН	<i>n</i>	Загального призначення			ТО237D
2N7014	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО220AB
2N7054	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО218AB
2N7055	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО218AB
2N7058	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО218AB
BF244А	КП307Ж	<i>p-n</i>	<i>n</i>	" "	BF245А		ТО92D
BF245А	КП329А	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Радіочаст. підсилювач	BF244А		ТО92Е
BUZ11	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО220AB
IRF120	—	МДН	<i>n</i>	Перемикаючий			ТО3С
IRF130	КП912	МДН	<i>n</i>	Загального призначення			ТО3С
IRF330	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО3С
IRF510	—	МДН	<i>n</i>	" "	IRF511		ТО220AB
IRF511	—	МДН	<i>n</i>	" "	IRF510		ТО220AB
IRF520	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО220AB
IRF530	—	МДН	<i>n</i>	" "	IRF531		ТО220AB
IRF531	—	МДН	<i>n</i>	" "	IRF530		ТО220AB
IRF540	—	МДН	<i>n</i>	" "			ТО220AB

Продовження таблиці 9.10

1	2	3	4	5	6	7	8
IRF610	—	МДН	<i>n</i>	" "	IRF621 IRF620		TO220AB
IRF620	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO220AB
IRF621	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO220AB
IRF640	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO220AB
IRF710	—	МДН	<i>n</i>	" "	IRF720 IRF831 IRF830		TO220AB
IRF720	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO220AB
IRF730	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO220AB
IRF830	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO220AB
IRF831	—	МДН	<i>n</i>	" "	J310 J309 VN10KM VN10LM		TO220AB
IRF840	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO220AB
J309	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	Радіочаст. підсилювач			TO92E
J310	—	<i>p-n</i>	<i>n</i>	" "			TO92E
VN10LM	—	МДН	<i>n</i>	Загального призначення	VN10KM VN10LM		TO237D
VN10KM	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO237D
VN46AF	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO202
VN66AF	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO202
VN88AF	—	МДН	<i>n</i>	" "			TO202

Таблиця 9.11. МДН-підсилювачі потужності звукової частоти

Тип приладу	$I_{D \max}$, А	$U_{DS \max}$, В	$P_{D \max}$, Вт	$g_{fs \sin}$, мА/В
2SJ50	7	160	100	700
2SJ56	8	200	120	700
2SK135	7	160	100	700
2SK176	8	200	120	700

Таблиця 9.12. Параметри МДН-транзисторів загального призначення.

Тип приладу	$I_{D \max}$, А	$U_{DS \max}$, В	$P_{D \max}$, Вт	$g_{fs \min}$, мА/В	$R_{DS (on) \max}$, Ом
1	2	3	4	5	6
2N7000	0,28	60	0,8	0,1	5
2N7007	0,087	240	0,8	0,03	45
2N7010	1,3	60	1,2	0,75	0,35
2N7014	3,5	100	20	8	0,8
2N7054	38	100	150	8	0,06
2N7055	28	200	150	6	0,1
2N7058	12	500	150	4	0,45
BUZ11	30	50	75	1,5	0,04
IRF120	8	100	40	4	0,3
IRF130	14	100	75	3	0,18
IRF330	5,5	400	75	1	1

Продовження таблиці 9.12

1	2	3	4	5	6
IRF510	4	10	20	1	0,6
IRF511	4	60	20	1,5	0,6
IRF520	8	100	40	4	0,3
IRF530	14	100	75	4	0,18
IRF531	14	60	75	6	0,18
IRF540	27	100	125	0,8	0,09
IRF610	2,5	200	20	1,3	1,5
IRF620	5	200	40	1,3	1,8
IRF621	5	150	40	6	0,8
IRF640	18	200	125	6	0,18
IRF710	1,5	400	20	0,5	3,6
IRF720	3	400	40	1	1,8
IRF730	5,5	400	75	3	1,5
IRF830	4,5	500	75	2,5	1,5
IRF831	4,5	450	75	2,5	1,5
IRF840	8	500	125	4	0,85
VN10LM	0,3	60	1	0,2	5
VN10KM	0,3	60	1	0,1	—
VN46AF	2	40	15	0,15	3
VN66AF	1,8	60	15	0,2	3
VN88AF	1,6	80	15	0,2	4

Таблиця 9.13. Параметри польових транзисторів загального призначення з p – n -переходом

Тип приладу	$I_D \max$, мА	$U_{DS \max}$, В	$P_D \max$, мВт	$g_{fs \min}$, мА/В
2N3819	—	25	2001	2
2N3820	—	25	200	0,8
2N4118	—	40	300	—
2N5457	10	25	310	1

Таблиця 9.14. Параметри перемикаючих польових транзисторів з p – n -переходом

Тип приладу	$U_{DS \max}$, В	$U_{GS \max}$, В	$P_D \max$, Вт	$t_{r \min}$, нс	$T_{f \min}$, нс
2N4092	40	–7	1,8	20	—
2N4351	30	–5	0,3	65	100
2N4391	40	–10	1,8	5	15
2N4392	40	–5	1,8	5	20
2N4393	40	–3	1,8	5	20
2N4858	40	–4	1,8	5	—
2N4861	40	–4	0,36	10	—

Таблиця 9.15. Параметри радіочастотних та малошумлячих польових транзисторів з керуючим p – n -переходом

Тип приладу	$I_{D \max}$, мА	$U_{DS \max}$, В	$P_{D \max}$, мВт	$g_{fs \min}$, мА/В
2N4220	15	30	300	1
2N4416	—	25	300	4
2N5486	—	25	310	4
BN244A	100	30	360	3
BN245A	100	30	360	3
J309	—	25	360	10
J310	—	25	360	8

Зауваження. Слід пам'ятати, що МДН-транзистор можна ушкодити статичною електрикою, яка накопичується у ємності його затвору. Тому доцільно замикати між собою всі виводи транзистора аж до впаювання його у схему. Польові транзистори з керуючим p – n -переходом не мають такого дефекта.

Значення крутизни польового транзистора залежить від струму стоку. Для малопотужних приладів крутизна вимірюється у межах зміни струму стоку від 1 до 10 мА.

Більшість параметрів польового транзистора (особливо крутизна) може дуже сильно змінюватись. Тому важливо розрахувати схему на мінімальне значення крутизни, щоб бути впевненим у надійності роботи пристрою у випадку зміни транзистора.

Допустима потужність, котру може розсіяти потужній МДН-транзистор, лінійно знижується до нуля при 100°C після того, як температура приладу стане більше ніж 40°C.

Розділ 10. Інтегральні мікросхеми

10.1. Типи інтегральних схем

Інтегральні схеми — це закінчені комплексні пристрої, які виготовляються в маленькій кремнієвій пластинці. Один такий пристрій може містити від 100 до 10 000 активних елементів (діодів та транзисторів) та, за виключенням деяких спеціальних приладів (наприклад, підсилювачів великої потужності), подібна конструкція повністю витіснила дискретну схемотехніку.

Інтегральні мікросхеми поділяються на два великих класи: лінійні (аналогові) та цифрові. Типовим прикладом аналогових схем є операційні підсилювачі, а цифрових — логічні мікросхеми. Крім того є мікросхеми деякого "проміжного" класу. До них відносяться, наприклад, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) та таймер серії 555. Цей таймер містить два операційних підсилювача, які працюють у якості компараторів напруги, з'єднаних з цифровою бістабільною частиною, буферний підсилювач та транзистор з відкритим колектором.

Корпуси інтегральних схем. Найбільш поширеною формою є корпус типу DIL (dual-in-line: два-у лінію), котрий виконується пластмасовим (DIP) або керамічним. Стандартний корпус DIL може мати 8, 14, 16, 28 або 40 виводів з кроком 2,5 мм.

Плоский корпус (металевоскляний або скляно-керамічний) широко використовується для планарного монтажу на друкованих платах. Для закріплення виводів цього корпусу не треба виконувати свердлення отворів у монтажній платі, а його виводи розміщені з кроком 1,25 мм. В останній час користуються все більшою популярністю корпуси типу QIL (quad-in line: чотири у лінію) але використовуються також і корпуси TO-5, TO-72, TO-3 та TO-220. Наприклад, TO-220 використовується для трьохвивідних стабілізаторів напруги.

Кодування інтегральних схем. Європейська система кодування інтегральних схем складається з трьох літер, за якими слідує три або чотири знаки, які позначають номер серії, а також тип корпусу.

Перша літера позначає клас, до якого відноситься інтегральна схема:

- S — цифрова схема,
- T — аналогова схема,
- U — аналого-цифрова схема.

Друга літера — серія (літера Н позначає гібридні мікросхеми).

Третя літера — робочий діапазон температур:

A — діапазон не визначений;

B — від -0 до $+70^{\circ}\text{C}$;

C — від -55 до $+125^{\circ}\text{C}$;

D — від -25 до $+70^{\circ}\text{C}$;

E — від -25 до $+85^{\circ}\text{C}$;

F — від -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Остання літера визначає тип корпусу:

B — DIP;

C — циліндричний корпус;

D — DIP;

F — плоский корпус;

P — DIP;

Q — QIL;

U — безкорпусна мікросхема.

На деяких мікросхемах кодується назва фірми-виготовлювача (табл. 10.1).

Приклад 10.1. Інтегральна схема ТВА810Р є аналоговою монолітною мікросхемою у корпусі типу DIP. Її робочий температурний діапазон не визначений.

Прилад АА105Р — інтегральна цифрова мікросхема в корпусі типу DIP. Робочий температурний діапазон не визначений.

Прилад SAF 2039Р є цифровою інтегральною мікросхемою у корпусі типу DIP. Робочий температурний діапазон від -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

10.2. Цифрові інтегральні мікросхеми

Цифрові інтегральні схеми використовуються дуже широко у різних електронних пристроях, не кажучи вже за їх очевидну галузь використання — обчислювальну техніку. Цифрові сигнали передають інформацію у вигляді величини, яка кратна стандартному часовому інтервалу між ними, або у вигляді двох рівней сигналу: низького рівня (логічний 0) та високого рівня (логічна 1).

Кількість напівпровідникових приладів, укладених в одній інтегральній мікросхемі, визначається поняттям "рівень інтеграції"[8,9].

У табл.10.2 приведена кількісна характеристика цього поняття.

Таблиця 10.1. Літери, які символізують назви фірм-виготовників, які зустрічаються у позначеннях інтегральних мікросхем

Літерне позначення	Фірма	Літерне позначення	Фірма
AD	Analog Devices	MC	Motorola
Am	Advanced Micro Devices	MC	Signetics
AN	National Semiconductor	MC	Texas Instruments
AY	General Instrument	Mj	Plessey
C	Intel	MK	Mostek
CD	RCA	PCF	Signetics
CDP	RCA	PIC	Plessey
D	Intel	PNA	Mullard
DG	Siliconix	R	Rockwell
DM	National Semiconductor	R	Raytheon
DS	National Semiconductor	RAY	Raytheon
DP	Advanced Micro Devices	RC	Raytheon
DP	National Semiconductor	S	American Microsystems
EF	Thomson/EFCIS	SAA	Mullard
F	Fairchild	SAA	Signetics
F	Ferranti	SAB	Mullard
H	SGS	LS	Texas Instruments
HC	Hughes	TEA	Signetics
HD	Hitachi	TIB	Texas Instruments
HEF	Mullard	TIC	Texas Instruments
HEF	Signetics	TIF	Texas Instruments
HM	Hitachi	TIL	Texas Instruments
HN	Hitachi	TIM	Texas Instruments
I	Intel	TIP	Texas Instruments
ICL	Intersil	TL	Texas Instruments
IM	Intersil	TLC	Texas Instruments
INS	National Semiconductor	TMM	Toshiba
KMM	Texas Instruments	TMP	Texas Instruments
LF	National Semiconductor	TMS	Texas Instruments
LM	National Semiconductor	UA	Signetics
LM	Signetics	UA	Texas Instruments
LM	Texas Instruments	UCN	Sprague
G	GTE	UDN	Sprague
NM	National Semiconductor	ML	Plessey
M	Mitsubishi	MM	National Semiconductor
MAB	Mullard	MN	Plessey
MBL	Fujitsu	MP	Micro Power Systems
SAF	Mullard	MSM	OKI
SCB	Signetics	MV	Plessey

Продовження таблиці 10.1.

Літерне позначення	Фірма	Літерне позначення	Фірма
SCN	Signetics	N	Sygnetics
SCP	Solid State Scientific	NE	Sygnetics
SE	Signetics	Nj	Plessey
SL	Plessey	NS	National Semiconductor
SN	Texas Instruments	NSC	National Semiconductor
SP	Plessey	P	Advanced Micro Devices
SY	Synertek	P	Intel
TAB	Plessey	PC	Sygnetics
TBP	Texas Instruments	PCB	Mullard
TC	Toshiba	PCF	Mullard
TCA	Signetics	UDB	Texas Instruments
TCM	Texas Instruments	UGN	Sprague
TDA	Mullard	ULN	Signetics
TDA	Sygnetics	ULN	Sprague
ULN	Texas Instruments	Z	Zilog
UPB	NEC	Z	ZGS
UPD	NEC	ZN	Ferranti
VM	Texas Instruments	μA	Texas Instruments
X	Xicor	μPD	NEC
XR	Raytheon		

Таблиця 10.2. Характеристика рівня інтеграції

Рівень інтеграції	Абревіатура	Кількість логічних вентелів
Низький	SSI (MIC)	До 10
Середній	MSI (CIC)	До 100
Високий	LSI (BIC)	До 1 000
Дуже високий	VLSI	До 10 000
Супервисокий	SLSI (CBIC)	До 100 000

Логічні вентилі. Таблиці станів характеризують логічні операції, які виконуються кожним вентилем. Інвертори та буфери мають по одному входу, елемент "АБО що виключає" — два входи, а інші (І, АБО, І–НІ, АБО–НІ) звичайно мають до восьми входів.

Буфер. Він призначений для узгодження вихідних та входних рівней сигналів мікросхем різного типу, а також для підвищення потужності, яка

віддається мікросхемою у навантаження. Буфер не виконує яких-небудь логічних операцій. Якщо на його вхід поступає логічна 1, то вона ж буде і на виході, якщо поступає логічний 0, то на виході також буде 0.

Інвертор. Логічна функція інвертора полягає у тому, щоб перетворювати логічну 1 на вході у логічний 0 на виході. Інвертор також виконує функції узгоджуючого ланцюга, як і буфер.

Логічна схема І. Реалізує операцію добутку логічних сигналів. На виході схеми присутня логічна 1, якщо 1 є на усіх входах схеми. Якщо хоч на одному вході схеми присутній логічний 0, то на виході буде 0.

Логічна схема АБО. Реалізує логічне додавання сигналів. На виході схеми присутня логічна 1 у тому випадку, коли логічна 1 присутня хоча би на одному вході. Сигнал 0 на виході буде тоді, коли на входах логічні 0.

Логічна схема І–НІ. Сигнал на виході цієї схеми є інвертованим вихідним сигналом схеми І. Якщо на всіх входах схеми І–НІ присутня логічна 1, то на виході буде 0. Будь-яка інша комбінація входних сигналів зумовлює появу логічної 1 на виході схеми.

Логічна схема АБО–НІ. Сигнал на виході цієї схеми є інвертованим вихідним сигналом схеми АБО. Якщо на всіх входах схеми АБО–НІ є логічний 0, то на її виході логічна 1. Будь-які інші комбінації входних сигналів зумовлюють появу логічного 0 на виході схеми.

Логічна схема “АБО що виключає”. Ця схема має на виході логічну 1, якщо на одному з її входів є логічна 1, а на іншому — 0. Якщо на обох входах схеми присутній логічний 0 або логічна 1, то на виході буде 0.

Чекаючий мультивібратор. Логічна схема з одним стійким станом на виході називається чекаючим мультивібратором. Вихідний сигнал цієї схеми дорівнює 0 доки на її вхід не надійде сигнал запуску. Спрацьовує мікросхема або при зміні входного сигналу від 0 до 1 (позитивний фронт), або при зміні входного сигналу від 1 до 0 (негативний фронт). Звичайно мікросхема має два відповідних входи. У момент спрацьовування вихідний сигнал змінюється від 0 до 1. Час зберігання високого рівня сигналу визначається зовнішнім RC -ланцюгом. Після цього вихідний сигнал знову стає рівним 0 і схема чекає надходження наступного сигналу запуску. Прикладом такої

мікросхеми з серії ТТЛ є схема 74121. Цей чекаючий мультивібратор може спрацьовувати як від позитивного, так і від негативного фронтів запускаючого сигналу, та має два комплементарних виходи Q та \overline{Q} , до мікросхеми треба приладнати один зовнішній резистор та один зовнішній конденсатор. Входи мікросхеми A1, A2 та В для вибору режиму запуску можуть бути з'єднаними слідуєчими трьома засобами:

- 1) якщо входи A1 та A2 приєднані до логічного 0, то запуск схеми здійснюється позитивним фронтом за входом В;
- 2) якщо входи A1 та В приєднані до логічної 1, то запуск схеми виконується негативним фронтом за входом A2;
- 3) якщо входи A2 та В приєднані до логічної 1, то запуск схеми виконується негативним фронтом за входом A1;

Аналогом мікросхеми 74212 є мікросхема K155АГ1.

Зауваження. Чекаючий мультивібратор у запущеному стані нечутливий до вхідних сигналів. Повторно його можна запустити, якщо мине інтервал часу, який дорівнює тривалості сформованого сигналу.

Мінімальна тривалість запускаючого сигналу чекаючого мультивібратора 74212 дорівнює 50 нс. Максимальна тривалість вихідного сигналу може складати до декількох секунд. Опір використовуваних резисторів змінюється у межах від 1,5 до 47 кОм. Максимальне значення ємності конденсатора обмежується лише його струмом утікання і може складати декілька сот мікрофард.

Тригер. Вихідний сигнал тригера має один із двох сталих станів: 0 або 1. Сталій рівень вихідного сигналу існує як завгодно довго до моменту надходження слідуєчого запускаючого сигналу. Нижче описані декотрі різновиди тригерів.

R–S–тригер. Це самий простий різновид тригерів. Пристрій має два виходи: встановлення (*SET*) у стан 1 та відновлення (*RESET*) у стан 0 та два комплементарних виходи Q та \overline{Q} . Сигнал логічної 1, поданий на вхід *S*, викликає (або підтверджує) сигнал логічної 1 на виході Q . Цей же сигнал на вході *R* викликає (або підтверджує) логічний 0 на виході Q . З іншого боку, тригер зберігає усталений стан аж до надходження слідуєчого вхідного сигналу.

D–тригер. Тригер цього типу має два входи: інформаційний вхід або вхід затримки (*delay*) та тактовий вхід *T*. Сигнал логічного 0 на вході *D* викликає (або підтверджує) стан логічного 0 на виході тригера в той момент, коли на вході *T* з'являється тактовий сигнал, який відповідає

логічній 1. Якщо на вході D з'являється логічна 1, то на виході логічна 1 встановлюється в момент приходу тактового сигналу на вхід T .

Таким чином, при наявності логічної 1 на вході T тригера записується інформація, яка відповідає інформації на вході D . Такий тригер виконує затримку сигналу на один такт. В пристрої можуть бути передбачені додаткові допоміжні входи, котрі дозволяють встановлювати, або відновлювати на виході приладу 1 або 0. Вони звичайно називаються *PRESET* (*PR*) та *CLEAR* (очищуючий — *CLR*). Тригери D -типу використовуються у якості елементів пам'яті або подвійних дільників частоти.

J – K –тригер. J – K –тригер має два тактових входи (J та K), два прямих входи (*PRESET* та *CLEAR*), рахуючий вхід *CLOCK* (CK) та два комплементарних входи Q та \bar{Q} . При встановленні логічного 0 на входах PR або CK на виході Q встановлюються відповідно 1 або 0.

Зауваження. R – S –тригер може бути легко реалізований шляхом з'єднання логічних схем АБО–НІ, а також І–НІ, для цього тригера заборонена комбінація входних сигналів $R=1$ та $S=1$. При цьому стан виходів може бути яким завгодно.

J – K –тригер володіє більшими функціональними можливостями у зрівнянні з іншими типами тригерів.

Родини логічних елементів. Цифрові інтегральні схеми прийнято класифікувати у відповідності із технологією їх виготовлення. Родина, до котрої належать мікросхеми характеризує час її перемикання, перешкодозахищеність, споживчу потужність та ін. Мова іде про дві принципово різні технології.

Перша родина мікросхем заснована на використанні біполярних приладів та називається транзисторно-транзисторною логікою (ТТЛ), а друга родина мікросхем заснована на використанні польових комплементарних транзисторів з ізольованим затвором (КМДН).

Серія 74 є різновидом ТТЛ, який найбільш часто використовується. Прилади цієї серії мають маркіровку, у початку котрої вказано номер 74. Варіанти приладів всередині цієї серії встановлюються за допомогою літери, яка знаходиться за номером 74:

немає літери — стандартний ТТЛ-прилад;

С — КМДН-прилад;

F — швидкодіючий прилад;

H — швидкодіючий прилад;

S — прилад з транзисторами Шотки (покращені швидкодійність та перешкодозахисність);

LS — малопотужний прилад з транзисторами Шотки;

НС — швидкодіючий КМДН-аналог ТТЛ-приладу (входи сумісні з КМДН-логікою);

НСТ — швидкодіючий КМДН-аналог ТТЛ-приладу (входи сумісні з ТТЛ-логікою).

Найбільш поширеною для КМДН-логіки є серія 4000. Прилади цієї серії маркируються за допомогою слідуєчих літер:

A — стандартний (без буферу) КМДН-прилад;

B, BE — покращений (з буфером) КМДН-прилад;

UB, UBE — покращений (без буферу) КМДН-прилад.

10.3. Аналогові інтегральні схеми

Операційні підсилювачі.

Операційні підсилювачі мають характеристики близькі до ідеальних, коли диференційний коефіцієнт підсилення по напрузі наближається до нескінченості, як і вхідний опір, а вихідний опір дорівнює нулю. В лінійному режимі в підсилювачі є глибокий зворотній зв'язок і тоді підсилювальні властивості пристрою визначаються відношенням опорів резисторів ланцюгів зворотнього зв'язку та вхідного.

Вхідний опір — це відношення вхідних напруги і струму. Вважається що це чисто активний опір, але в діапазоні високих частот треба враховувати вхідну ємність мікросхеми. Величина входного опору в значному ступені залежить від технології виготовлення мікросхеми. Як правило дорівнює 200 000 Ом для біполярної мікросхеми та 1000 000 000 Ом для польової.

Вихідний опір — відношення вихідної напруги підсилювача в режимі холостого ходу до вихідного струму в режимі короткого замикання.

Напруга зміщення нуля — це напруга, прикладання якої до входу підсилювача забезпечує на виході нульову напругу. Справа в тому, із-за неідеальності внутрішньої структури підсилювача та величезного значення вихідної напруги на його вхідних зажимах завжди присутня деяка напруга, навіть в тому випадку, коли вхідна напруга дорівнює нулю. Ефективним способом боротьби з цим явищем являється введення глибокого від'ємного зворотнього зв'язку. Регулювання нульового значення відбувається подачею напруги на додаткові виводи підсилювача.

Конструктивно в одному корпусі можуть знаходитись один, два або чотири операційних підсилювача, наприклад, відповідно ОУ081, ОУ082, ОУ084 — це біполярні мікросхеми з польовими транзисторами на вході.

Зауваження. Якщо в електронній схемі треба декілька операційних підсилювачів, краще використовувати здвоєні або зчетверенні мікросхеми. Це підвищує надійність, зменшує необхідну поверхню друкованої плати, знижує ціну та число компонентів.

При роботі з ОУ на польових транзисторах треба забезпечити захист від статичної електрики.

При використанні ОУ як підсилювача змінної напруги чи струму поміж підсилювачами вмикаються конденсатори.

Таймери

Таймер являє собою інтегральну мікросхему, яка включає як аналогову так і цифрову схемотехніку. Мікросхема складається з двох операційних підсилювачів, які використовуються в якості компаратора, тригера та вихідного ключового каскада, який дозволяє як віддавати струм в навантаження так і споживати його. Джерело живлення $+(4,5-15)$ В.

Зауваження. Таймери можна використовувати як автогенератори (мультивібратори), або формувачі імпульсних сигналів заданої тривалості (чекаючі мультивібратори). В автоколивному режимі вони працюють в діапазоні частот від 0,1 Гц до 100 кГц. В режимі формувача сигналів можлива генерація імпульсів струму тривалістю від 10 мкс до 10 с. Точність формованих сигналів залежить від точності резисторів та конденсаторів.

Інтегральні стабілізатори напруги

Ці мікросхеми мають три виводи. Їх вихідна напруга може бути фіксованою або регульованою. Передбачені внутрішні струмовий та тепловий захисти.

Зауваження. Для запобігання можливого збудження стабілізатора треба шунтувати його вхід конденсаторами ємністю порядку 100 нФ.

10.4. Тенденції розвитку електронних компонентів

Широке впровадження технологічних досягнень мікроелектроніки в силове напівпровідникове приладобудування дозволило створити нові класи приладів, керованих структурою “метал-окисел-напівпровідник”.

До таких ключових елементів, маючих високі рівні комутованих напруг та струмів, малі статичні та динамічні втрати, незначні інтервали переключення та потужності управління, відносяться:

- польові транзистори з ізольованими затворами (**MOSFET**);
- біполярні транзистори з ізольованими затворами (**IGBT**);
- тиристори, що замикаються, з МОП-управліннями (**MCT**) або (**MOSGTO**);
- “інтелектуальні” силові інтегральні схеми і модулі на базі перерахованих вище приладів (**Smart IC IPM — Intelligent Power Modules**).

В 1984 році доля повністю керованих приладів (біполярних транзисторів — **BPT**, тиристорів, що замикаються, — **GTO** і біполярних транзисторів з ізольованим затвором — **IGBT** становила тільки 8% від загального обсягу виробництва силових напівпровідникових приладів. Домінували традиційні тиристори (**SCR**) — 34% та діоди — 58%.

Вже в 1992 році, при зменшенні обсягу виробництва тиристорів до 26%, доля повністю керованих приладів зросла до 25%. До 2000 року доля виробництва тиристорів та діодів, при збереженні або незначному зменшенні обсягів, в загальному обсягу виробництва приладів силової електроніки скоротиться: діодів — на 35% і (**SCR**) — на 18%. Доля повністю керованих приладів зросте до 47%, в основному, за рахунок росту виробництва біполярних транзисторів з ізольованим затвором (**IGBT**).

В останні роки динамічно розвиваються класи приладів силової електроніки **MOSFET** та **Smart IC** (інтелектуальних силових інтегральних схем), обсяги виробництва яких зросли в три рази і становили більше половини всього ринка приладів силової електроніки.

В останні роки найбільш масовими приладами силової електроніки стають: біполярні транзистори з ізольованими затворами (**IGBT**) та силові модулі на їх основі. Після трьох стадій розвитку прилади мають такі параметри: комутовані напруги — до 3500 В, струми — до 1200 А (в модульному виконанні), прямі падіння напруги біля 2 В, часи комутації біля 200 нс. Кращі, в порівнянні з **GTO**, статичні та динамічні характеристики **IGBT**-модулів, з такими ж граничними параметрами, дозволяють зробити прогноз про поступове витіснення ними тиристорів, що запираються, в областях комутованих напруг — до 3,5 кВ та струмів — до 1200 А.

Починаючи з 1989 року, спостерігається зменшення обсягів виробництва силових біполярних транзисторів і модулів на їх основі (**BPT**). У 1995–96 роках обсяги виробництва цих приладів зрівнялись з (**IGBT**). До 2000 року виробництво (**BPT**) скоротиться до 10% від обсягів

виробництва **IGBT**. Ще більшими темпами будуть зростати обсяги виробництва високовольтних великострумових **IGBT**, що приведе до скорочення випуску **GTO** на ті ж параметри.

Слід відмітити, що більше половини потужних приладів будуть випускати в модульному виконанні.

Різкий скачок в підвищенні граничних параметрів модулів на **IGBT** може дати таблеткова конструкція модулів з прижимними контактами через молибденові термокомпенсатори, які запропоновані фірмами Fuji та Toshiba. Вона дозволила отримати в габаритах традиційної таблеточної конструкції силових напівпровідникових приладів 75 мм **IGBT** з комутованою напругою 3500 В, струмом 1200 А та тепловим опором 0,01 К/Вт.

Сьогодні **MOSFET** та **IGBT** силові інтегральні схеми і модулі, в тому числі інтелектуальні (**IPM**) витісняють практично із всіх сфер застосовувані раніше тиристори, біполярні транзистори, а тепер і тиристори, що запираються, так як при тих же комутованих струмах і напругах вони мають значно меншу потужність управління та час комутації, більш широку область безпечної роботи, більш високі (до 50 кГц) частоти перетворень.

По прогнозам у 2000 р. **IGBT** повністю замінить **BPT** і **GTO** в перетворювальному обладнанні потужністю до одиниць МВА, в області малих потужностей (в низьковольтних перетворювачах) будуть домінувати **MOSFET**. В області значних потужностей — **GTO**.

Розділ 11. Технічні засоби електронних систем керування

11.1. Апаратні технічні засоби систем автоматики

При створенні автоматизованих систем управління технологічними процесами широке застосування знайшли апаратні технічні засоби [10]. Створена державна система приладів, які рекомендовувались для використання при автоматизації виробничих процесів. Розглянемо частину найбільш поширених.

Регулюючий (електронний) прилад інтегральний безконтактний РПБ складається з двох блоків: вимірювального та електронного. Електронний блок єдиний для всієї серії приладів, а вимірювальний має декілька різновидів. Прилади РПБ являються пропорційно-інтегральними регуляторами, а з допомогою перетворювача зворотнього зв'язку можна отримати пропорційний закон регулювання, а в комплекті з диференціатором пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання.

Прилади регулюючі типів РП-2, РП2-ПЗ, РП2-ТЗ, РП2-СЗ, РП2-УЗ застосовуються для перетворення алгебраїчної суми сигналів датчика та задатчика в сигнал керування, який, через контактний або безконтактний пускач, подається на електричний виконавчий механізм. Прилади являються релейними безконтактними регулюючими пристроями з імпульсним вихідним сигналом. Прилади дозволяють реалізувати відомі закони керування — пропорційний, пропорційно-диференціальний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-інтегрально-диференціальний (з додатковим блоком).

Прилади регулюючі працюють з такими датчиками: РП2-ПЗ з диференційно-трансформаторним, феродинамічним; РП2-СЗ — з термометром опору ТОП, ТОМ; РП2-ТЗ — з термопарами ХК (хромель-копелевою), ХА (хромель-алюмелевою); РП2-УЗ — з датчиками, які мають уніфікований сигнал 0-5 мА. Прилади мають, відповідно, — чотири, два, один входи.

Прилади функціонально розділяються на електронний (РП2) та вимірювальний блоки (В-ПЗ, В-ТЗ, В-СЗ, В-УЗ). Вимірювальний блок служить для алгебраїчного складання вхідних сигналів датчиків, порівняння їх з сигналами задатчика, підсилення сигналу помилки і перетворення його в постійну напругу. Електронний блок служить для підсилення і перетворення сигналу, поступаючого з вимірювального блока з метою імпульсного керування через магнітний підсилювач або реверсивний пускач електричним виконавчим механізмом.

«Каскад» являє собою комплект взаємопов'язаних пристроїв і застосовується для автоматизації теплових електростанцій, включає електронні регулюючі прилади серії РПБ, електронні коректуючі прилади серії КП. Лампові диференціатори ДЛ, напівпровідникові обмежувачі НО, лампові перемикачі ЛП, пристрій динамічного зв'язку ПДЗ, блок управління БУ, задатчик ручного управління.

«Кристал» — електронно-гідравлічна система автоматичного регулювання технологічних процесів котельних установок малої та середньої потужності. Включає безконтактні транзисторні підсилювачі ПТ та гідравлічні виконавчі механізми ГВМ з влаштованими в них пристроями зворотнього зв'язку — жорсткого та пружного.

Регулюючі органи та виконавчі механізми. Застосовуються різноманітні дросельні заслонки, клапани, задвижки, шибєрні пристрої, направляючі апарати. Важливе значення має конструктивна характеристика регулюючого органу, наприклад залежність прохідного перетину регулюючого органу від його ходу для дроселюючого органу, а також витратна характеристика — залежність регульованої середи від ходу керованого органу.

Важливе значення має спосіб з'єднання регулюючого органу з виконавчим механізмом, який залежить від взаємного розташування, характеру переміщення регулюючого органу.

Виконавчі механізми — це пристрої для переміщення регулюючого органу згідно поступаючого від керуючого пристрою сигналу. Виконавчі механізми включають такі елементи: виконавчий двигун — як джерело силового впливу на регулюючий орган, передаточного або перетворюючого пристрою, розташованого поміж виконавчим двигуном та регулюючим органом для отримання певної швидкості напрямку та характеру переміщення регулюючого органу, кінцевих вимикачів, потрібних для обмеження переміщення регулюючого органа та його фіксації, елементів керування (пускатів, реле, золотників, клапанів і т.ін.), захисту (запобіжників, переливних клапанів), сигналізації та контролю.

По виду споживаної енергії виконавчі механізми можна розділити на: електричні, пневматичні, гідравлічні (якщо в якості енергоносія використовується масло називають сервоприводом), інші — де використовується потенційна енергія груза або зжатої пружини, енергія вибуху.

Електричні виконавчі механізми по принципу дії розподіляються на електромагнітні, електродвигунові, по характеру роботи вихідного органу — на однообертові, багатообертові та поступального руху.

Механізми виконавчі електричні однообертові постійної швидкості типів МЕО та МЕО-К призначені для переміщення регулюючих органів систем автоматичного регулювання у відповідності з командними сигналами, поступаючими від регулюючих пристроїв. Керування механізмами як безконтактне, з допомогою магнітного підсилювача типу ПМД або пускача безконтактного типу ПРБ-2, так і контактне, з допомогою магнітних пускачів типу МКР. Механізми складаються з редуктора, електродвигуна, блока датчиків, конденсаторів, електромагнітного пристрою гальмування. Принцип роботи заключається в перетворенні електричного сигналу в обертання вихідного вала.

Створена агрегатна система засобів обчислювальної техніки (АЗОТ), яка являє собою систематизований набір агрегатних пристроїв з уніфікованими зовнішніми зв'язками для забезпечення збору, схову, переробки та видачі інформації. Вона дозволяє компонувати різні інформаційні та обчислювальні системи. АЗОТ широко поширена в металургійній, хімічній, машинобудівній промисловості.

11.2. Комплекси технічних засобів локальних інформаційних та управляючих систем

В основу комплексів технічних засобів локальних інформаційних та управляючих систем (КТЗ ЛПУС), як агрегатної системи обчислювальної техніки, покладено агрегатний принцип, дозволяючий створювати структуру з уніфікованими стандартними спраженнями пристроїв, проводити поетапне впровадження, модернізацію систем. Спільне застосування КТЗ ЛПУС та АЗОТ дозволяє будувати широкий клас систем управління. КТЗ ЛПУС призначений для побудови АСУ окремими агрегатами, установками та технологічними процесами з безперервним та безперервно-дискретним характером виробництва і забезпечує комплектування по агрегатному методу автоматичних систем контролю, регулювання та управління шляхом електричного та конструктивного об'єднання засобів, маючих уніфіковані зовнішні зв'язки. КТЗ ЛПУС включає пристрої для отримання інформації (перетворювачі з уніфікованим виходом, пристрої ручного вводу інформації), пристрої для використання інформації (керування виконавчими механізмами, безперервне, позиційне, кодове), пристрої для контролю та місцевого керування (представлення інформації, реєстрація параметрів, інтегрування, стабілізація параметрів, корекція уставок), пристрої первинної переробки інформації (централізований

контроль, контроль відхилень, цифрова реєстрація, цифрове регулювання, логічне управління).

КТЗ ЛУС по алгоритмічній реалізації являється жорстко програмованими на рівні функціональних блоків автоматики зі схемним виконанням основних функцій. В складі комплексу передбачені технічні засоби перетворення сигналів для вводу, комутації, обробки, зберігання та обміну. Використовується принцип багатофункціональної побудови блоків зі змінним складом обладнання. Проектним шляхом компонують різні по призначенню та складу комплекси. На базі функціональних блоків та пристроїв створені базові моделі комплексів контролю і управління, передачі інформації, програмного та логічного управління технологічними процесами. Прикладом використання комплексу є створення АСУ ТП прокатки на прокатному стані 550 при виробництві автообода та автовісей.

11.3. Регулюючі мікропроцесорні контролери

Загальні відомості. Контролери дозволяють вести локальне, багатозв'язне, екстремальне регулювання технологічних процесів, управління змінною структурою. Вони формують алгоритми керування — ПІ та ПІД закони регулювання, перетворення аналогових сигналів, виконують операції керуючої логіки, обробляють та формують дискретні сигнали. Регулюючі мікропроцесорні контролери (РЕМІКОНТи) можуть працювати в якості автономного виробу, або на нижньому рівні ієрархії автоматизованих систем управління технологічними процесами, зв'язуючись з контролерами верхнього рівня через канал цифрового послідовного інтерфейсного зв'язку. В комплекті можуть використовуватись датчики та виконавчі механізми загально-промислового призначення. Сигнали, поступаючі в Реміконт обробляються в цифровій формі.

Відомі моделі Р-100, Р-110, Р-112, Р-120, Р-122, Р-130. Контролери поставляються з заводу виготовлювача готовими до роботи. Програмування контролера виконується на об'єкті з допомогою клавішної панелі, коли наладчик вибирає необхідні алгоритми управління, конфігурацію керуючого контура, параметри статичної та динамічної настроек, сигнали завдання та режими керування. Реміконт проектно-компоновані вироби. Вони мають базовий комплект апаратури, який поставляється незалежно від обсягу вирішуваної задачі та проектно-компонований комплект, залежний від числа каналів вводу-виводу інформації, що визначається при індивідуальному заказі.

Реміканти Р-110 (одиначний) та Р-112 (дубльований) розраховані на 40–200 вхідних та вихідних сигналів, а Р-120 (одиначний) та Р-122 (дубльований) на 15-90. Вони вирішують ті ж задачі, що і аналогові прилади автоматичного регулювання систем: РПБ, РП-2, РП-4, СУПС, «Каскад», «Контур», АКЕСР.

Основна відміна полягає в тому, що контролери являються програмованими пристроями, алгоритми та конфігурація зв'язків жорстко не фіксовані і можуть змінюватись. Це дозволяє нарощувати функції управління без застосування додаткової апаратури та реалізовувати багаторежимні системи керування, взаємодію з засобами верхнього рівня управління в одному пристрої, самодіагностику. Відміна контролерів від інших універсальних мікро-ЕОМ полягає в тому, що вони не вимагають від наладчика знань обчислювальної техніки та програмування при роботі на об'єкті. Реміканти доцільно використовувати для простих багатоканальних систем з ПП та ППД законами регулювання 4–6 параметрів для Р-120 та 10–12 для Р-110. Бібліотека алгоритмів включає основні логічні функції І, АБО, таймери, лічильники, тригери для суміщення задач логічного та безперервного регулювання. Застосування Реміконтів в розподілених системах АСУ ТП дозволяє організувати взаємодію систем верхнього та нижнього рівней керування.

Основні технічні данні. Число аналогових входів 64, дискретних до 63. Число виходів аналогових 64, імпульсних до 64, дискретних до 63. Вхідні та вихідні аналогові сигнали постійного струму (0–5, 0–20, 4–20) мА; 0–10 В. Дискретні вхідні сигнали: логічний нуль $0 \pm 2,4$ В, логічна одиниця $\pm 19,2 \dots 28,8$ В. Число алгоритмічних блоків до 64. Число алгоритмів керування 45. Час циклу: 0,27 с; 0,51 с; 1,02 с; 2,04 с. Розрядність АЦП — 11 плюс знак, ЦАП — 10 плюс знак. Вигляд інтерфейса — інтерфейс радіального послідовного зв'язку (ІРПЗ). Довжина лінії зв'язку до 1 км. Вхідні та вихідні сигнали постійного струму, дискретні та імпульсні мають гальванічне розділення один від одного.

Склад та конструкція. Реміканти складаються із модулів, основних і допоміжних блоків та конструктивних елементів. Модулі забезпечують перетворення і обробку сигналів керування та команд оператора. Основні блоки входять в склад любого контролера, додаткові можуть бути зкомпоновані. Конструктивні елементи об'єднують контролер в єдине ціле.

Модулі розділяються на такі групи: мікропроцесорного обчислювача, зв'язку з об'єктом, оператором та інтерфейсний. Мікропроцесорний обчислювач включає три модуля: процесор ПРЦ5

серії K580 для обробки інформації, постійний запам'ятовуючий пристрій ПЗП-2, де зашите програмне забезпечення контролера (організація обчислень, алгоритмів управління, обслуговування панелі оператора та інтерфейсних каналів, тестування та самодіагностики), оперативний запам'ятовуючий пристрій ОЗП4, де зберігаються параметри вибрані оператором (алгоритми, конфігурація, коефіцієнти, режими, завдання, час цикла).

Пристрій зв'язку з об'єктом складається з семи модулів: перетворювачів — аналого-цифрового АЦП2, цифро-аналогового ЦАП2, дискретно-цифрового ДЦП2, цифро-дискретного ЦДП2, цифроімпульсного ЦІП2, розділювачів гальванічних РГ12 та РГ22.

Модуль управління та сигналізації МУС2 забезпечує зв'язок з оператором, включає два дискретних вихода (відмова та помилка) та один канал інтерфейсного зв'язку ІРПЗ. Модуль інтерфейсного зв'язку МІЗ2 має чотири канала ІРПЗ.

Основні блоки включають панель оператора ПО2, джерела живлення.

Фізична структура. Всі модулі об'єднані системою паралельних шин (внутрішнім інтерфейсом). Контролери мають три конструктивних виконання — шафне, приладне та каркасне. Основним конструктивним елементом контролера є шафа компоновочна напільна, шафа компоновочна настінна.

Взаємозв'язок з датчиками та виконавчими пристроями. Реміканти обробляють сигнали в цифровому вигляді, але мають засоби для підключення аналогових та дискретних датчиків та виконавчих механізмів. З ними можуть працювати любі датчики з уніфікованим струмовим сигналом.

Функціональні можливості. Віртуальна (уявна) структура характеризує якості контролера як ланцюга, системи. Фізична структура перетворюється в віртуальну з допомогою внутрішнього програмного забезпечення зашитого в постійну пам'ять контролера. Віртуальна структура включає алгоритмічні блоки, бібліотеку алгоритмів, засоби вводу-виводу інформації, засоби настройки та контролю. В 64 алгоблоках виконується обробка інформації. Алгоблоки являються базовими елементами віртуальної структури.

Вони реалізуються програмно, а споживач сприймає їх так, як неначе алгоблок реально існує у вигляді закінченого виробу. Він обробляє поступаючу на його вхід інформацію та формує керуючий вплив. Алгоблок відрізняється від апаратних засобів тим, що функції жорстко не фіксовані і можуть легко змінюватись шляхом заміни алгоритма програмним шляхом без використання кабельних зв'язків.

Протокол інтерфейсного зв'язку. Канали інтерфейсного зв'язку використовуються для обміну інформацією з пристроями верхнього рівня управління — абонентами. В парі абонент — реміконт останній являється пасивним пристроєм: він лише відповідає на отримане від абонента повідомлення, але по своїй ініціативі ніяких повідомлень не передає. При направленні повідомлення абонент повинен дочекатись від реміконта отримання відповіді, після чого може направити друге повідомлення. Через інтерфейсний канал можна виконати всі процедури, які виконуються з допомогою панелі оператора. Через інтерфейс можна:

- запросити у реміконта інформацію (значення сигналів на входах та виходах, завдання, неузгодження, алгоритм, конфігурацію, коефіцієнти любого алгоритмічного блока, комплектність, час циклу, перелік відмовлень);
- змінити наступні параметри (сигнал завдання, режим роботи, вихідний аналоговий сигнал в любому алгоритмічному блоці, алгоритм, конфігурацію та коефіцієнти в любому алгоритмічному блоці, час цикла).

Для запроса інформації та зміни параметрів в реміконті реалізовані три сітьові рівні інтерфейсного канала: **фізичний, інформаційний та транспортний**. Фізичний рівень виконує електричний зв'язок контролера з абонентом, а також перетворює інформацію із паралельної форми в послідовну та виконує зворотні перетворення. Інформаційний рівень надає повідомленням певну форму і згідно з нею упаковує повідомлення при передачі та розпаковує при прийомі. Транспортний канал формує зміст повідомлення при прийомі. Якщо робота фізичного та інформаційного канала не залежить від змісту повідомлень, тобто задач конкретної АСУ ТП, то транспортний рівень визначає смисл повідомлень, що передаються та приймаються.

При прийомі повідомлень інформація поступає в реміконт на фізичний рівень інтерфейсного канала. Потім вона обробляється інформаційним рівнем і передається на транспортний рівень, де повністю розшифровується. Передача йде в зворотній послідовності — транспортний рівень готує необхідну інформацію та передає її на інформаційний рівень, який її упаковує, потім через фізичний рівень вона поступає до абонента.

Транспортний рівень безпосередньо зв'язаний з інформацією, яку використовує та формує основна програма реміконта. Фізичний рівень реалізований з допомогою апаратних засобів модулів МІ32 та МУС2. Інформаційний та транспортний рівні реалізовані програмно.

Протокол фізичного канала. Реміконт має чотири фізичних інтерфейсних канала: один в модулі МУС2 та три в МІ32, до яких

підключають радіальні лінії зв'язку з абонентами. На фізичному рівні всі канали працюють у відповідності з протоколом інтерфейса радіального послідовного зв'язку ІРПЗ. Дані представлені байтом, із 8 біт, швидкість передачі інформації 4 88 біт/с.

Протокол інформаційного каналу. Формат повідомлення. Інформаційний канал реалізовано з допомогою програм, зашитих в ПЗП реміконт. Відповідне програмне забезпечення повинно знаходитись в пам'яті абонента. Для обміну повідомленнями використовується формат, прийнятий в протоколі BSC. Будь-яке повідомлення складається із трьох полів: заголовок, текст, кінцевик. Заголовок і кінцевик — службові поля повідомлення. В тексті повідомлення є як службова, так і змістовна інформація. В заголовку повідомлення розташовуються чотири символи: AP1=(10); початок тексту, номер джерела, номер приймача. Текст повідомлення розбивається на блоки. Кожен блок має три поля: заголовок, текст, кінцевик. Заголовок та кінцевик — службові частини блока, текст блока включає, як службову, так і змістовну інформацію. В заголовку розташовується номер блока. В тексті блока може бути запит, команда, відповідь, підтвердження. Абонент передає тільки запити та команди, а реміконт передає абоненту відповіді та підтвердження. Кінцевик повідомлення включає три символи.

Протокол транспортного каналу. У відповідь на запит абонент отримує від реміконт інформацію. Формат запита має максимальну довжину 5 байт і включає 4 або 5 полів. Формат команди, з допомогою якої в контролері змінюються параметри, має максимальну довжину 7 байт, має 6 полів.

Формат відповіді. Він поступає від реміконт, який перед цим прийняв запит. Довжина відповіді залежить від вигляду та числа запитаних параметрів. Відповідь має 6 полів.

Формат підтвердження. Передається в двох випадках: відповідь на будь-яке прийняте повідомлення (запит, команду) з помилками; у відповідь на будь-яку команду без помилок. Формат підтвердження — довжина 2 байта, 2 поля.

Формат параметрів. Негативні числа видаються в додатковому коді, знаковий біт дорівнює одиниці. При передачі двохбайтного числа першим передається молодший байт числа.

Загальна характеристика алгоритмів управління. Бібліотека тримає 45 алгоритмів, котрі поділяються на шість груп.

1. Алгоритми аналогового регулювання (приведені: код, позначення, найменування):

01 РАС ПІД стандартний;

02 РАН ПІД з нуль-органом;

- 03 РАД ПІД з диференціюванням;
- 04 РАП ПІД з автопідстройкою;
- 06 ПАС ПІ стандартний;
- 07 ПАН ПІ з нуль-органом;
- 08 ПАП ПІ з автопідстройкою.
- 2. Алгоритми імпульсного регулювання
 - 11 РІС ПІД стандартний;
 - 12 РІН ПІД з нуль-органом;
 - 13 РІД ПІД з диференціюванням;
 - 14 РІП ПІД з автопідстройкою;
 - 15 РПП ПІД з повною автопідстройкою;
 - 16 ПСІ ПІ стандартний;
 - 17 ПІН ПІ з нуль-органом;
 - 18 ППІ ПІ з автопідстройкою;
 - 19 ППП ПІ з повною автопідстройкою.
- 3. Динамічні алгоритми:
 - 20 ДИФ Диференціювання;
 - 21 ДИН Динамічне перетворення;
 - 22 ІНТ Інтегрування;
 - 23 СЛД Слідкування;
 - 24 ПРЗ Програмований задатчик;
 - 25 ІНЗ Інтегруючий задатчик;
 - 26 ЗАП Запізнення;
 - 27 КС Ковзне середнє;
 - 28 БСР Безперервне середнє;
 - 29 ДСР Дискретне середнє.
- 4. Алгоритми математичних операцій:
 - 30 СУМ Додавання;
 - 31 САД Додавання з А/Д перетворенням;
 - 32 МН Множення;
 - 33 ДІЛ Ділення;
 - 34 КОР Корінь квадратний;
- 5. Алгоритми нелінійних операцій та переключення:
 - 40 КУС Кусочно-лінійна функція;
 - 41 СЕЛ Селекціювання;
 - 42 СЕР Селекціювання розузгодження;
 - 43 ПЕР Переключення;
 - 44 ПЕЛ Переключення з логікою;
 - 45 ВІВ Вибіркове відключення;
 - 46 НОР Нуль-орган;
 - 47 ДІЗ Дискретний задатчик;

- 48 ВЕК Виділення екстремума;
- 49 ШІМ Широтно-імпульсний модулятор.
- 6. Логічні алгоритми:
 - 50 УЛО Універсальна логіка (І, АБО, тригер, таймер, лічильник);
 - 51 БУЛ Булева логіка;
 - 52 ДТ Два з трьох;
 - 53 СТ Середнє з трьох.

11.4. Застосування індустріальних комп'ютерів

Регулюючі мікропроцесорні контролери застосовуються на нижніх поверхах ієрархії автоматизованих систем керування технологічними процесами. Вони не мають засобів відображення інформації та розвиненої інфраструктури. Тому для вирішення задач керування на більш високих рівнях доцільно використовувати персональні електронно-обчислювальні машини. Вони отримали назву ІВМ-сумісних індустріальних комп'ютерів.

Сімейство ІВМ-сумісних індустріальних комп'ютерів призначено для створення систем управління технологічними процесами. Від звичних офісних машин їх відрізняють покращений термозахист, корозійна стійкість, захист від вологи, вібрацій, шуму, пилу, коливань живлячої мережі. Це забезпечує високу надійність та простоту обслуговування.

Сімейство фізично включає: індустріальні — власне комп'ютер, робочу станцію, одноплатний комп'ютер 286/386/486, мініатюрний комп'ютер, електронні емулятори механічних накопичувачів, каркас з системною шиною PC-BUS та засоби її розширення, рами для установок монітора та клавіатури.

Система збору даних та управління має великий набір печатних плат, а саме: збору інформації, вводу/вивода дискретної інформації, вивода аналогової інформації, таймера/лічильника, інтерфейса RS-422/RS-486, інтерфейса IEEE-488, управління кроковим двигуном, підсилювача/мультиплексора, вибірки та зберігання, стиковки з об'єктом, релейних та електронних ключів, віддаленого збору інформації серії ADAM-4000, аналогових модулів вводу/виводу серії 58.

Прикладне програмне забезпечення включає пакети: збору інформації — PC-LabDAS, LABTECH NOTEBOOK, EASYEST; аналіз форми сигналу — PC-Streamer, PC-Scope, SNAPSHOT, LABTECH ACOUIRE; управління технологічними процесами — LABTECH CONTROL, Control EG, утілити — Measurement Programming Tools, PC-ComLIB; аналіз — PC-ComWatch, DADiSP.

Плати та модулі високої вирішальної спроможності: PCL-816 16 бітова модульна плата збору даних — 16-бітве аналого-цифрове перетворення, частота виборок 100 кГц, 16 диференційних входів, програмований діапазон вхідних напруг, автоматичне сканування каналів; PCL-814 14 бітова модульна плата збору даних; PCL-814-DA-1 12 бітовий двохканальний модуль ЦАП; PCL-814-D10-1 24 канальний модуль дискретного вводу; PCL-814-TC-1 5 канальний модуль таймера/лічильника.

Плати загального призначення для збору даних та керування: PCL-718/818 високопродуктивні плати збору інформації — 12 бітве перетворення, частота виборок 100 кГц, автоматичне сканування каналів, 16 несиметричних або 8 диференційних входів, 2 канала ЦАП, 16 каналів дискретного вводу/вивода та лічильник/таймер; PCL812/812 PG плати аналогового та дискретного вводу/вивода; PCL-711S універсальна плата вводу/вивода; PCL-860 плата 4 ½ розрядного цифрового вольтметра; PCL-726 6 канальна плата ЦАП; PCL-728 плата двохканального ізольованого ЦАП.

Плати дискретного вводу/вивода та лічильники: PCL-720 плата дискретного вводу/вивода 32 біта дискретного вводу/вивода, 3 програмованих лічильника, PCL-721/723 32/24 канальна плата дискретного ініціативного вводу, PCL-722 плата 144 бітового вводу/вивода, PCL-724 24 бітова плата вводу/вивода; PCL-725 плата механічних реле та оптоізольованого вводу дискретної інформації, PCL-830 10 канальна плата таймера/лічильника.

Засоби комунікації та віддаленого збору інформації/управління: серія модулів віддаленого збору інформації ADAM 4000 — інтерфейс комп'ютер/датчик (RS-485), програмно конфігурована структура, протокол обміну в кодах ASCII, PCR-420 плата віддаленого вводу/виводу дискретної інформації, PCL-743 плата інтерфейса RS-422, RS-485 швидкість обміну до 56 кбод, максимальна дальність до 1200 метрів, PCL-745 плата ізольованого інтерфейса RS-422/RS-485, PCL-744 8 портова інтелектуальна плата послідовного інтерфейса, PCL-848A/B багатофункціональна плата інтерфейса IEEE-488.

Зовнішні плати розширення для нормованих вхідних сигналів включають: монтажну плату PCLD-780/780, включаючи два 20 контактних роз'єднувача, PCLD-782 16-канальну плату оптоізольованого входу, PCLD-785/885 16-канальну плату релейного комутатора, PCLD-786 плату керування електронними та механічними реле, PCLD-7216/7224/7224Q плата для установки модулів електронних реле дискретного вводу/виводу інформації, PCLD-788 16-канальний релейний мультиплексор, PCLD-5816 несуча плата модулів серії 58, PCLD-779

плата ізольованого релейного мультиплексора/підсилювача, PCLD-789 плата підсилювача/мультиплексора, PCLD-770/7701/7702 плата нормування сигналів, PCLD-787 восьмиканальний пристрій виборки/зберігання, PCLD-774 з'єднуюча плата модулів нормованих сигналів.

Прикладне програмне забезпечення включає: PCLS-701 LABTECH NOTEBOOK системи збору даних, управління об'єктом в реальному масштабі часу, багатовіконний інтерфейс, лінеаризація та компенсація термопар; PCLS-707 LABTECH CONTROL — управління об'єктом, системи супроводження, відеограми об'єкта в реальному масштабі часу, ПД-керування, зберігання даних, побудова графіків, визначення граничних значень, аварійна сигналізація; PCLS-709 Control EG система збору інформації і управління в режимі меню, обслуговування систем з невеликою або середньою кількістю точок контролю, до 256 каналів вводу/вивода, вимірювання напруг, температури, тиску, алгоритм обробки вхідних та вихідних даних, що визначається користувачем; PCLS-805 SNAP Software Series — високошвидкісний збір та аналіз даних, емуляція цифрового осцилографа, обробка сигналів та статистика, цифрові фільтри, системи супроводження, швидке перетворення Фур'є; PCLS-806 SNAP-MASTER for Microsoft Windows — робота з максимально можливою швидкістю перетворення АЦП, одночасне отримання інформації від декількох датчиків, збір та відображення інформації від 256 датчиків; PCLS-802 PC-ComLIB — бібліотека процедур послідовного обміну інформації, резидентна програма активована через переривання, підтримка стандартних послідовних портів та плати PCL-744, засоби відладки; PCLS-700PC LabDAS — збір даних, тестування систем, зберігання на диску зібраних даних, визначення часу і нижніх меж контрольованих величин, вбудовані функції формування повідомлень, можливість перетворення зібраних даних в формат Lotus 1-2-3; PCLS-800 PC-SCOPE — цифровий осцилограф, керований в режимі меню, однократний або тривалий режим збору даних в реальному масштабі часу, сканування великого числа каналів, одночасне відображення інформації двох каналів; PCLS-801 PC Streamer — швидкість передачі даних 200 Кб/с, частота виборок до 100 кГц; PCLS-702 LABTECH ACQUIRE — кероване в режимі меню програмне забезпечення, обслуговування п'яти вхідних каналів (чотирьох аналогових та одного дискретного); PCLS-807 Software Programming Tools for Measurement/Control/Gráfica — побудова графіків в реальному масштабі часу з використанням відомих алгоритмів, безкоштовне використання пакету при створенні власних прикладних програм, поставка у вигляді відкомпільованих програм; PCLS-708 DADiSP — аналітична інструментальна програма загального

призначення, удосконалені функції матричного обчислення, двох, трьох, чотирьохмірна графіка, до 100 “вікон” на екрані одночасно.

Конструктиви, розроблені для експлуатації IBM PC сумісних машин в умовах промислового підприємства включають — робочі станції, шасі індустріальних комп’ютерів, індустріальні монітори та клавіатура, додаткова периферія. Робочі станції IPC-810 індустріальна робоча станція з 10” МПФ монітором, IPC-820 — з 19” МПФ монітором, IPC-840 — з 9” електролюмінісцентним дисплеєм.

Шасі індустріальних комп’ютерів: IPC-610 шасі індустріального комп’ютера, IPC-6706 модульне шасі, IPC-6806 мініатюрне шасі, MBPC-640 мікрошасі, PCXU-205 конструктив для розширення системного інтерфейсу, IPC-6010 конструктив для розміщення крос-плати з шиною PC-BUS.

Індустріальні монітори та клавіатура: IPC-6520 універсальний конструктив для монтажу монітора, PCA-6570 сенсорний екран, IPC-6310/IPC-6305 клавіатура, PCA-6301 компактна клавіатура, PCA-61141 — контролер монітора VGA, PCA-6142 — навісний модуль контролера VGA.

Додаткова периферія: PCX-794/795 — розширювач системного інтерфейсу PC-BUS, PCA-6112D — пасивна крос-плата на 12 посадочних місць.

Розділ 12. Електронні системи в промисловості

12.1. Об'єкти автоматичного управління

Об'єкт (object) — виділена по деяким правилам частина світу, яка являється предметом пізнання, практичної діяльності.

Управління (control) — процес, забезпечуючий необхідне при використанні по цільовому призначенню протікання технологічних процесів перетворення енергії, речовини та інформації, підтримку працездатності і безаварійного функціонування об'єкта шляхом збору та обробки інформації про стан об'єкта та зовнішньої середи, вироблення рішень про вплив на об'єкт і їх виконання.

Об'єкти управління можна розподілити на такі види.

Одноцільові та багатocільові об'єкти управління (single-purpose and multi-purpose controlled object)— в залежності від кількості цілей управління.

Детерміновані та стохастичні (determined and stochastic) — ступінь визначеності операторів зв'язку вхідних та вихідних координат об'єктів (однозначний, вірогідний).

Безінерційні, інерційні з чистим запізненням (inertialess, inertial, pure time-lag) — характер часового зв'язку вхідних та вихідних координат в об'єкті (без відставання, відставання, зсув).

Однозв'язні та багатозв'язні (signal-loop and multi-loop) — ступінь зв'язку процесів в об'єкті.

Одномірні, багатомірні (one-dimensional, multi-dimentional) — ступінь складності структури об'єкту.

Указані терміни відображають лише одну властивість реального об'єкта. В тих випадках, коли необхідно відмітити декілька його властивостей, термін будується шляхом об'єднання вказаних терміно-елементів. Наприклад, багатозв'язний нелінійний дискретний об'єкт управління.

Практично всі металургійні агрегати представляють собою складні нестационарні об'єкти регулювання, які описуються рівняннями високих порядків, мають нелінійні залежності поміж вхідними та вихідними величинами. Складні об'єкти управління можна розділити на ряд елементарних ланок, включених послідовно або паралельно. Фізико-хімічна складність металургійних процесів призводить до того, що металургійні агрегати являються багатозв'язними об'єктами. Наприклад, в багатозонній нагрівальній методичній печі зміна витрат палива в якій-небудь зоні призводить до зміни температури не тільки в цій зоні, але і

викликає зміну температури в сусідніх зонах, тиску в печі та складу пічної атмосфери.

12.2. Принципи побудови систем автоматичного керування

Види управління

Координація (coordination) — управління, мета якого заключається в узгодженні процесів в різних підсистемах.

Регулювання (control) — забезпечує близькість текучих значень координат до їх заданих значень.

Стабілізація (stabilization) — постійність значень керованих координат на заданому інтервалі часу.

Слідкує регулювання (follow-up control) — відповідність значень керованих координат сигналам уставки, змінюючимся довільним чином.

Програмне регулювання (program control) — відповідність уставці, яка змінюється довільним чином.

Оптимальне керування (optimal control) — забезпечується екстремум показника якості управління.

Екстремальне керування (extremal control) — утримується екстремум показника якості.

Термінальне керування (terminal control) — переведення об'єкта в заданий стан в заданий момент часу.

Фінітне управління (fixed-time control) — переведення об'єкта із початкового стану в кінцевий за граничний час.

Принципи управління

Ручне управління (manual control) — безпосередньо за участю оператора.

Автоматичне управління (automatic control) — керування виробляється і здійснюється без участі оператора.

Автоматизоване управління (automated control) — узгодження ручного та автоматичного керування.

Управління з зворотним зв'язком (feedback control) — керуючі впливи виробляються з урахуванням стану об'єкта, визначеного попереднім керуючим впливом.

Управління по відхиленню (deviation control) — керуючий вплив виробляється по відхиленню координати від заданого значення.

Управління по збуренню (disturbance control) — вплив на об'єкт формується по збуренню.

Адаптивне керування (adaptive control) — керування виробляється при заздалегідь невідомих властивостях системи керування.

Управління з ідентифікатором (control with identification) — адаптивне керування з ідентифікатором в ланцюзі зворотного зв'язку.

Управління по оцінкам (control by estimate) — керування виробляється по результатам фільтрації значень координат об'єкта.

Управління з прогнозом (control with forecast) — керування виробляється як по поточних, так і очікуваних в майбутньому значеннях координат системи керування.

Логічне управління (logic control) — де керування виробляється на основі логічних перетворень координат системи керування.

Управляючі об'єкти

Управляючий пристрій (control device) — функціонально та конструктивно закінчений пристрій.

Регулятор (controller) — здійснює автоматичне керування шляхом апаратної реалізації алгоритма управління.

Контролер (programmable controller) — здійснює керування шляхом програмної реалізації алгоритмів.

Автоматизована система (automated system) — де функції прийняття рішень виконує людина.

Ієрархічна управляюча система (hierarchical controlling system) — централізована управляюча система, підсистема прийняття рішень, якої розподілена подекількох підпорядкованих рівнях, кожен із яких виконує частину функцій прийняття рішень.

Системи управління

Замкнена система (closed-loop system) — керування виконується із зворотнім зв'язком.

Розімкнена система (open-loop system) — керування без зворотнього зв'язку.

Типові закони управління

Лінійний закон регулювання (linear control law) — де виконуються тільки лінійні перетворення координат.

Нелінійний закон регулювання (non-linear control law) — включає хоча б одне нелінійне перетворення координат.

Пропорційний закон управління (proportional control law) — прямо-пропорційна залежність поміж керуючим впливом та відхиленням.

Пропорційно-інтегральний закон управління (proportional plus integral control law) — лінійний закон керування, відображаючий прямо-пропорційну залежність значень керуючого впливу від суми зважених значень впливу відхилень та інтеграла від нього, взятого по часу.

Пропорційно-інтегрально-диференційний закон управління (proportional plus integral plus derivative control law) — де керуючий вплив залежить від суми зважених значень впливу відхилення, інтеграла та похідної по часу від нього.

Двохпозиційний закон управління (two-position control law) — де керуючий вплив може приймати лише два значення в залежності від значення впливу відхилення.

12.3. Штучний інтелект в системах управління

В останній час намітилась тенденція впровадження штучного інтелекту в промисловості в більшості на верхньому рівні ієрархії автоматизованих систем управління технологічними процесами. Однак такі наміри зараз стосуються не тільки нижнього рівня, але і технічних засобів автоматизації, де не без успіху звичайний спосіб зв'язку 4...20 мА замінюється на цифрову мережу.

Настройка та адаптація. Управління зі зворотнім зв'язком дозволяє отримати системи керування, які не чутливі до збурень та зміни параметрів об'єкта. У випадку застосування принципу компенсації збурень, треба мати математичну модель для керування, оскільки неповна компенсація збурень така ж неповноцінна, як і перекомпенсація. При поступовій зміні параметрів технологічного процесу, на основі ідентифікації технологічного процесу, треба знайти його нову модель. Для пошуку математичної моделі процесу застосовуються адаптивні методи керування, коли треба водночас вирішити протиріччя: вирішити задачу ідентифікації, щоби мати якомога точнішу модель процесу і, водночас, виконати якомога точніший регулюючий вплив. Останній ускладнює вирішення задачі ідентифікації, так як суттєво підвищує відносний рівень перешкод, тим більше, чим вплив точніший. Так виникає задача подвійного — дуального керування.

Методи адаптації:

- програмна зміна коефіцієнтів підсилення визначається використанням допоміжних змінних;
- прямі градієнтні методи — адаптивні системи з еталонною моделлю. В основі лежать дві ідеї: мета замкненої системи формулюється як задача слідування за моделлю; параметри регулятора настраюються на основі градієнтної схеми;

- непрямі схеми настройки — самонастроювальні регулятори, коли знаходиться оцінка параметра моделі об'єкта розрахунковим шляхом. Для отримання хороших оцінок необхідно ввести збурення, щоб переконатись, що об'єкт збурений;
- нелінійні схеми, наприклад, з лінеаризацією зворотнього зв'язку;
- нейронні мережі — штучні нейронні мережі, спосіб запису нелінійних функцій декількох змінних та підгонки параметрів описування до даних.

Нове покоління інтелектуальних регуляторів. Удосконалення систем керування вирішується шляхом застосування експертних, нейромережових регуляторів, а також використанням асоціативної пам'яті. Експертний регулятор призначено для активної самодіагностики об'єкта керування, яка включає в себе визначення можливих відхилень в системі на основі аналізу змін параметрів динамічного об'єкту, компенсує знайдені зміни з допомогою вибору типу та настроювання контролера, використовуючи досвід та знання проектувальників. Використання основних властивостей нейронних мереж, таких як масивно-паралельна обробка, висока відмовостійкість, навчання на прикладах (неалгоритмічне навчання), здібність до узагальнення та класифікації даних. Особливістю роботи з асоціативною пам'яттю являється формування миттєвих асоціацій та вибір із пам'яті керуючих сигналів або параметрів регулятора.

Ідентифікація моделей слабоформалізованих процесів та систем на основі спроможних заходів залежності. Загальні напрямки до ідентифікації слабоформалізованих систем пов'язані з застосуванням непараметричних методів ідентифікації вхідно-вихідних відображень моделей з використанням мір залежності випадкових процесів.

Система математичного моделювання АСУ складними безперервними технологічними процесами. Моделювання складних процесів необхідне при проектуванні нових систем керування, дає можливість знайти раціональний варіант системи, знайти параметри настройки в конкретних умовах.

Протокол fieldbus стосовно до промислових контролерів як відображення тенденції впровадження локального інтелекта в промислові прилади та забезпечення зв'язку поміж вузлами мережі. В промисловій автоматичній використовують стандарт 4...20 мА для передачі значень вимірювальних змінних процесу з об'єкта до контролера, альтернативою якому є система fieldbus. Мережа fieldbus зв'язує промислові прилади (сенсори, виконавчі механізми, пристрої вводу-виводу та локальні регулятори) на промисловому рівні. Вона має нові функції, такі як автоматична калібровка промислових приладів, самотестування,

загрузка в пам'ять значень параметрів, конфігурування, діагностика в реальному часі, попереднє обчислення вимірюваних величин, моніторинг мережі. Це повністю цифрова двонаправлена багатоточечна комунікаційна система.

Комп'ютерний аналіз в динаміці прийняття рішень. Системи прийняття рішень (СПР) повинні дозволяти генерувати та оцінювати різноманітні варіанти сценаріїв, дій (рішень), враховувати зміни в обстановці та оцінювати наслідки планованих дій. При виникненні ситуації, по якій треба прийняти рішення і характер якої ідентифікується по її назві, СПР пропонує набір можливих дій (операцій).

Комп'ютерний аналіз дозволяє:

- ясніше зрозуміти положення, в якому воно знаходиться (область критеріального та параметричного простору, характеризуючих його стан), мету, яку воно хоче досягнути (область критеріального і параметричного просторів, в яку бажано попасти), значимість кожного параметра;
- згенерувати всі можливі сценарії (варіанти рішень) та оцінити ефективність кожного із них;
- проаналізувати хід виконання прийнятих рішень на декілька кроків вперед і вибрати найкращий перший хід та стратегію.

12.4. Робототехнічні системи виробництва

Роботи на зварювальних операціях. Промислові роботи виступають як основне технологічне обладнання в ролі зварочних та механозбиральних, збирачів електронних компонентів, приладів, та систем клепальників та зпаювальників, роботів для забарвлення і нанесення покриттів, контролерів, сортувальників та упаковників.

Зварювальні роботи застосовуються в серійному виробництві, особливо, для крапкового зварювання, поширені промислові роботи для дугової і газової зварки та різки. Процес крапкового зварювання краще піддається програмуванню, бо тут вимагається визначити кінцеве число крапок на певній поверхні з достатньо простою дією механізму зварювання в кожній крапці. При дуговому або газовому зварюванні роботу необхідно відслідковувати безперервну траєкторію руху зварювальної головки, з достатньою точністю витримувати її наріжні положення по відношенню до поверхні та шов зварюваних деталей, а також відстань зварочної головки від поверхні шва. В зв'язку з цим в ряді випадків потрібно надавати роботу засоби відчуття у вигляді вимірників малих відстаней та кутів на фізичних засадах, що

забезпечують їх надійну роботу в умовах високих температур та яскравого світлового випромінення.

Тут потрібне контурне із зворотним зв'язком управління, що слідує за електроприводами маніпулятора робота з декількома ступенями рухливості. Електронна обчислювальна машина використовує поточну інформацію технологічних датчиків для управління процесом зварки, дозволяє легко реалізувати алгоритми управління з бібліотеки програм, які знаходяться в пам'яті, а також має можливість перепрограмування на різноманітні режими безперервного провадження зварювання з різними геометричними варіантами зварочного шва.

Програмне автоматичне зварювання деталей відрізняється високою якістю та продуктивністю. Зварочний шов має кращі характеристики — більш правильну форму та більшу точність, ніж при ручному зварюванні, менше розбризкується метал.

Найбільшого поширення зварочні роботи набули в автомобільній промисловості при виготовленні кузовів різних марок автомобілів. Там, на головному конвейєрі автомобільного заводу, водночас працює декілька зварочних роботів з великою продуктивністю. Кузов встановлюється на кроковому конвейєрі в зібраному та закріпленому вигляді; конвейєр фіксується на кожному кроці. Всі роботи працюють водночас та зварюють в 10–15 крапках кузова. Дії запрограмовані, і кожний робот по програмі обходить автоматично всі призначені йому крапки зварювання кузова. При проектуванні робототехнічного комплексу необхідно визначити раціональне місце установки робота, виходячи з заданих в просторі крапок обслуговування (наприклад для зварювання днища автомобіля). При цьому повинні бути визначені сектори можливих поворотів ланок маніпулятора робота, тоді в просторі визначаться досяжні при русі маніпулятора крапки.

Роботи для клепальних робіт. Автоматизація операцій клепки вузлів різноманітних виробів не підлягає сумніву, що можливо шляхом застосування роботів. Вся складна процедура взаємозалежних рухів маніпуляторів в процесі клепки і покроковому їх зміщенні до нових місць клепки запрограмована та реалізується з допомогою керуючої електронної обчислювальної машини. Система дозволяє легко виконати перенастроювання шляхом перепрограмування для проведення клепки інших вузлів та панелей.

Роботи в механоскладальних операціях. Автоматизація складальних процесів в машинобудуванні та приладобудуванні має важливе значення в сенсі трудовбереження та звільнення людей від копіткої ручної роботи. Проте автоматизація складальних робіт дуже складна із-за потреби здійснення різноманітних видів спряжень

численних деталей та механізмів. Потрібно, щоб роботи були споряджені автоматично змінюваними захватами, інструментами, пристроями. В багатьох випадках при збірці роботу необхідне чуття дотику та відчуття величини зусилля, що докладається, інколи технічний зір, а часто проста фіксація наявності деталі в даному місці променем фотодатчика.

Саме в складальних операціях найчастіше вимагається надання роботам властивостей адаптації до зміни умов функціонування з допомогою тих або інших сенсорних засобів чуття. Часто створюються складальні автомати з вмонтованими в них роботами. У нинішній час на багатьох приладобудівних підприємствах існують автоматичні складальні лінії, наприклад, для збирання з окремих деталей точних механізмів годинників різноманітних клапанних та контактних механізмів, невеликих електричних двигунів, простих регуляторів, приладів, термостатів.

Для автоматизації складальних операцій широко стали застосовуватись роботи типу «СКАРА», про які вже згадувалося. Вони зручні тим, що мають податливість по відношенню до горизонтального зусилля та володіють жорсткістю по відношенню до вертикального зусилля, тому з їх використанням полегшується вставлення валиків та болтів в отвори і інші подібні операції з ліквідацією помилки взаємного позиціонування за рахунок податливості.

Складання друкованих плат теж являє собою трудомістку операцію, з працею що піддається автоматизації, особливо в випадку багатомономенклатурного виробництва. Установка на заготівку друкованої плати мікросхем та інших елементів вимагає окрім високої точності позиціонування компонентів (плати та деталей), що спрягаються, також спеціальної підготовки їхніх виводів: формовки, обрізки під заданий розмір і т.ін.

Зразок гнучкого виробничого модуля складання друкованих плат виконано на базі двох роботів типу СКАРА.

Складання в мікроелектроніці — автоматизація монтажу кристалів в електронних компонентах, автоматизація ультразвукової мікрозварки для приєднання виводів з алюмінієвого дроту до елементів мікросхем, формування перемичок та поточного контролю якості монтажу. Для цих цілей застосовуються прецизійні складальні роботи.

Спеціальна система технічного зору із відеокамерою визначає координати елементів, що монтуються. По сигналу вказаної системи корегується положення монтажного механізму. Процесами мікропереміщень, а після цього мікрозваркою провідників керує мікропроцесорна система.

Роботи монтажу мають ряд датчиків, контролюючих всі етапи роботи виконавчих приладів. Прикладне програмне забезпечення системи — основа додержання всіх взаємопов'язаних дій даного комплексу. Тут необхідно відзначити специфічні соціальні обставини. Коли технологічний процес монтажу кристалів в мікроелектроніці проводиться вручну, то робітниця робить це під мікроскопом з великою напругою зору та нервів. Такої напруги людина довго не витримує. У зв'язку з цим роботизація цього процесу, не дивлячись на її складність, стала однією з першочергових.

Роботизація забарвлення та нанесення покрить. Робота по забарвленню, нанесенню різноманітних покрить, в тому числі гальванічних, а також очистка деталей від окалини, бруду, іржі, масел і т.ін. являється трудомісткою та шкідливою. Але такі роботи проводяться повсюди в широких масштабах, тому їх автоматизація з використанням робототехнічних комплексів надто актуальна. Існують різноманітні системи автоматизації цих процесів.

Промислові технологічні лінії гальванічних та хімічних покрить обслуговуються роботами-автооператорами портального або тельферного типу з електронними безконтактними командоапаратами. Застосовуються промислові роботи і для дрібно-струйної, піско-струйної, гідро-піскоструйної очистки деталей.

Роботи на контрольних операціях застосовуються при проведенні контрольно-вимірювальних операцій на виробництві, коли маніпуляційний механізм або подає деталь до контрольного приладу, або сам прилад, знаходячись в кисті маніпулятора робота, подає виріб для контролю. При цьому автоматично перевіряються будь-які властивості матеріалу, після лиття, зварювання швів, ультразвуковими і рентгенівськими засобами з відображенням на екрані дисплея. Автоматизація контролю скорочує його трудомісткість та підвищує вірогідність.

Проілюструємо на прикладі автоматичного випробовування фотодіодів. Піддон із фотодіодами переміщується до станції завантаження фотодіода. Робот типу «СКАРА» подає фотодіод на ділильний стіл станції випробування. Проводиться тестування фотодіода. Після цього робот розвантажує випробувний фотодіод та знову завантажує порожній піддон. Розрізняються три якісні види фотодіодів. Відпрацьовані же фотодіоди скидаються в окрему тару. Система випробовування складається з двох роботів.

Широко розпочинає застосовуватися роботизація операцій укладки, упаковки та транспортування виробів виробничих підприємств. Такі операції відрізняються підвищеною монотонністю та часто виявляються

важкими для людини. Разом з тим, в багатьох випадках, автоматизація може здійснюватися достатньо простими робототехнічними засобами. Ми не торкаємось тут великих проблем роботизації технологічних процесів в багатьох інших галузях промисловості (легкій, харчовій, хімічній і ін.), де також багато втомливих, одноманітних та шкідливих ручних операцій. Скрізь потрібна комплексна автоматизація робіт на новій науково-технічній основі з застосуванням робототехнічних систем, керуючих індустріальних комп'ютерів і мікропроцесорних приладів. Виявляється доцільним застосування робототехнічних систем в медицині, частково для скануванні по певній програмі великих опікових та інших ран різноманітними аерозольними лікувальними препаратами з точно призначеним дозуванням.

Автоматизація допоміжного устаткування. Накопичувальні та живильні пристрої

Технологічна оснастка призначена для базування, орієнтації деталей, упорядкованої поштучної подачі, прийому виробів, локального накопичення та зберігання виробів, проміжного транспортування. Коли оснастка виявляється складною та дорогою, вигідніше стає застосовувати зчутлений адаптивний робот, що орієнтується самотужки у неупорядкованій обстановці. Накоплюючі та живильні прилади надто різноманітні. Вони можуть бути у вигляді лотків, де упорядкована поштучна подача деталей роботу здійснюється під дією їх власної ваги, або у вигляді бункерів з подачею деталей шляхом обертання дна, на якому розташовані деталі.

В іншому випадку шляхом покрокового обертання піддона деталі фіксуються кожний раз у певному положенні для взяття їх роботом або сама рука робота має покрокове програмне переміщення при непорушному піддоні. Аналогічні дії можна здійснювати шляхом поступального покрокового переміщення в прямокутних координатах, де деталі розміщені упорядковано в касетах (палетах). Накопичувальні пристрої можуть мати вигляд лотків з прямовисно розташованими стопками деталей. Деталь подається роботу поштучно спіднизу за допомогою шибєрного приладу або вертикально рухаючогося з'йомного приладу. Маніпулятор бере деталь зверху, безпосередньо покроково переміщуючись донизу, або з досягненням кожний раз певного положення деталі шляхом покрокової подачі самої кромниці, або стопки деталей всередині лотка. Для повного забезпечення верстатів деталями за заданий час роботи лотки можуть мати декілька стопок деталей, а піддони інколи роблять багаторівневими, такими, що мають ряд горизонтальних площин з деталями. Такі накопичувальні пристрої називаються контейнерними.

Накопичувачі можуть виконуватися у вигляді ланцюгових механізмів з розташованими у кожній ланці ланцюга деталями. Тут деталі поштучно подаються роботу шляхом покрокового переміщення ланцюга. Такі ланцюги можуть утворювати багатоярусні контейнери. В накопичувальних пристроях може бути організована циркуляція піддонів (касет або палет), з почерговим їх поповненням по мірі звільнення. Проміжне транспортування деталей всередині роботизованого технологічного комплексу здійснюється з допомогою простих роликів або пошагових транспортерів або тактових столів, де суворо фіксовані кроки переміщення, що реалізуються спеціальними механізмами.

Застосовуються також лінійні електродвигуни, що транспортують деталі і можуть працювати як у прямокутних координатах, так і в полярних по просторових спіралевидних траєкторіях. Заготівки встановлюються на пластини стола або на пристосування, що кріпляться на пластинах. Для дрібних деталей, яким при подачі не шкідливі струси та співудари застосовуються вібробункери. На внутрішній воронкоподібній поверхні існує спіральний лоток. Під дією вібрації бункера деталі переміщуються по лотку. Існує пристрій, що орієнтує, так, щоб у розвантажувальний лоток потрапляли лише правильно зорієнтовані деталі.

В промисловій робототехніці застосовуються різноманітні пристрої, що орієнтують. Вони можуть бути пасивними та активними. Пасивне орієнтування заключається в тому, що деталь, рухаючись по лотку, неминуче прийме потрібне положення. Це досягається відповідним підбором геометрії лотка або конуса. При цьому деталь, що не набула необхідного положення, скидається. При правильному положенні деталь утримується, а при неправильному — звальюється. Отвір виконано по формі правильного положення деталі. Остання провалюється в цей отвір і потрапляє на лоток, подаючий її до роботи. Всі неправильно розташовані деталі прослизують далі і звальюються до бункера. В активних приладах, що орієнтують, застосовується примусовий вплив на деталі.

Так, електромагнітні прилади, що орієнтують, засновані на розпізнаванні розташованих деталей електромагнітним полем. При попаданні в поле ферромагнітної деталі виникають сили взаємодії — моменти, що орієнтують її із-за зміни енергії поля. В пристроях, що орієнтують неферромагнітні деталі, виникають сили взаємодії магнітного поля з вихревіми струмами. Використовується також зміна індуктивності котушок при відхиленні розташування ферромагнітних деталей, внесених в котушку.

Пневматичні прилади, що орієнтують деталі, ґрунтуються на ефектах присасування, відштовхування, утворення повітряної подушки, ежекції і таке інше.

Засоби пневмоники (струйної техніки) дозволяють автоматично керувати процесом орієнтації деталей. На цій базі будуються більш-менш складні схеми орієнтації деталей. Не розглядаючи їх, наведемо найпростіший приклад поштучної подачі роботу циліндричних деталей з лотка з допомогою роторного живлювача. В автоматичні пази диску, що повертається, вкладається по одній деталі, що слідує одна за одною. Вакуум в каналі втягує деталі, а після цього стисне повітря, що подається через канал, скидає назад зайві деталі, залишаючи тільки по одній.

Фотоелектричні прилади, що орієнтують, започатковані на тому, що рухома деталь затемнює фотоелементи. Система, таким чином, розпізнає розташування деталі і орієнтує її.

Допоміжні прилади. В зварочних робототехнічних системах і комплексах використовуються поворотні столи. Поки робот зварює один виріб, оператор готує на іншій стороні стола новий виріб для зварювання. Такий спосіб ручної установки в подальшому повинен бути замінений автоматизованою системою, що зв'язує робочі позиції з транспортними пристроями, що подають та прибирають вироби з зони зварювання. Деякі об'єкти специфічного допоміжного устаткування вимагають застосовування роботизації складальних операцій. Тут застосовуються механізми подачі, накопичувачі, установочні пристрої, що спрямовують, що направляють, та різноманітні спеціальні прилади для кріплення, пайки, склейки і т. ін.

Обслуговування технологічного устаткування. До перших відносяться автоматизація з допомогою роботів процесів обслуговування різноманітних металорізальних верстатів, шліфувальних та протяжних верстатів, пресів холодної та гарячої штамповки, ковальського та ливарного устаткування, установок для термообробки, а також завантаження-розвантаження напівавтоматів дугового зварювання та контактних зварювальних машин. До другої категорії відносяться автоматичне виконання роботами процесів зварювання, складання, забарвлення, нанесення покриттів, пайки, проведення контрольних операцій, упаковки, транспортування та складування.

Робототехнічні комплекси (РТК) механічної обробки. Промислові роботи в (РТК) гнучких виробничих модулів повинні не лише замінювати людину на допоміжних операціях, але і суттєво підвищувати продуктивність, якість та використання основного технологічного обладнання. Організація робочих місць роботів суттєво відрізняється від

організації робочих місць для людей, особливо, зовсім інакше здійснюється подача деталей, їх обробка та відведення їх після обробки, вилучення стружки і т. ін. Верстати, що обслуговуються роботами, як правило, повинні мати системи ЧПУ, спільно працюючі з системами програмного управління роботів. По командам програми робот бере заготовку з палети, лотка або іншого пристрою, що забезпечує поштучну видачу деталі, що орієнтувалася. Готові деталі робот забирає із верстату, викладає на спеціальний стіл, звідкіля вони надходять до транспортної системи. Прилади управління робота та станка зв'язані із системою управління РТК, що з допомогою ЕОМ по певній програмі синхронізує роботу всього комплексу технологічного обладнання. Програмне забезпечення системи в цілому може переналагоджуватись на різноманітні режими процесу обробки. Існують кранниці автоматично змінюваних захватів робота. Для завантаження в патрон верстату заготовок з касет та вивантаження їх назад після обробки існує на бабці кожного верстату малий робот. Тут комплекс різноманітних верстатів автоматично обробляє складні деталі, що вимагають послідовного виконання різного роду технологічних операцій.

Управління ЕОМ забезпечує загальну узгоджену програму роботи лінії згідно з темпом її роботи, програму дій роботів, що здійснюють настанову, зняття деталей на станках та послідовне транспортування деталей від верстату до верстату. Всі РТК повинні бути синхронізовані та найкращим чином організовані з точки зору найбільшої продуктивності та високої якості продукції. Ці завдання виконує керуюча ЕОМ або комплекс ЕОМ та мікропроцесорів.

Мікропроцесори встановлені на кожній одиниці обладнання та існує одна центральна ЕОМ. РТК, що обслуговується одним оператором, складається з двох-трьох модулів. При порталній компоновці робота у порівнянні з напільною РТК займає меншу виробничу площу, при цьому простіший доступ до верстатів та до різноманітного обладнання, краще забезпечується безпечність дій для людини. Точність позиціонування менше залежить від маси деталі, ніж у горизонтально витягнутого маніпулятора напільного типу.

Маніпулятор робота має два захоплюючі захвати. В одному він тримає заготовку, взяту їм з прийомного стола накопичувача, а іншим захватом бере з патрона верстата готову деталь. Взявши цю деталь і повернувши кисть маніпулятора, робот вставляє заготовку в патрон верстату. Верстат вмикається, а робот уносить готову деталь, вкладає її в приготовлену тару біля стола та бере з прийомного стола нову заготовку. Доки верстат обробляв деталь, робот вже повернувся до нього для повторення дій спочатку в тому ж порядку. Всі описані рухи робота

порталу, у патрона верстату і у прийомного стола, а також включення верстату, обробка деталі і вимикання відбуваються автоматично при управлінні від ЕОМ по програмі. Останню можна легко переналагодити на другі режими роботи. Приймальний стіл (накопичувач) заповнюється заготівками на декілька годин автоматичної роботи даного РТК.

РТК холодної штамповки. Поряд з обслуговуванням механічної обробки промислові роботи застосовуються в системах автоматизації холодної листової штамповки. Це пов'язано з тим, що тут існує найпростіший комплекс одноманітних “ручних” рухів, що повторюються. Він піддається програмуванню, а значить, і роботизації. В промисловому виробництві багато деталей виробляється шляхом гарячої об'ємної штамповки. Роботизації підлягають операції, що сліднують: укладка заготовки в нагрівальний пристрій (наприклад, індукційний), передача нагрітої заготовки до штамповочного агрегату, передача після цього штамповки в обрізний прес, потім укладка готових деталей в тару.

Технологічна операція висадки головок болтів. Вона автоматизована з допомогою пневматичних роботів, які мають клешневі захвати, а РТК постачається магазином-автоматом для заготовок. Повна автоматизація процесу забезпечується програмною системою управління. Роботизація ковальських цехів надто актуальна, бо праця робітників характеризується підвищеною небезпекою та шкідливістю внаслідок високої температури, наявності пилу, виділення газів. Крім того, робітникам потрібно виконувати важкі одноманітні операції з великими фізичними навантаженнями, складною координацією рухів. Проте застосування роботів пов'язане з дещо більшими труднощами, ніж при холодній листовій штамповці, бо необхідно забезпечити стабільність протікання процесу з ряду параметрів. Особливе значення набуває контроль за перебігом технологічного процесу. З'являється потреба введення деяких додаткових приладів, наприклад автоматичної видачі заготовок з нагрівальної печі, виштовхування поковок з пресу, приладів автоматизованого змащування штампів, здуву окалини. Більш складна задача — автоматизація вільної ковки, де застосовуються, в основному, керовані людиною — оператором маніпулятори з кантователями.

Комплекси пресування неметалічних деталей. Важливою галуззю застосування роботів є обслуговування машин для продуктивного отримання пластмасових та абразивних деталей. Промислові роботи обслуговують також машини лиття під тиском. В цьому випадку роботизується операція заливки металу, мастила прескамер, вилучення відливок та, якщо треба, передача відливки на операцію обрубки і вилучення їх в тару. Роботи застосовуються при литті в кокіль, литті по моделям, що витоплюються, а також при очистці та транспортуванні

відливок. При литті по моделям, що витоплюються, роботизується нанесення керамічного покриття на модельні блоки. Обслуговується прокалка форм, виготовлення стрижнів в гарячих шухлядах. Представляє інтерес провадження роботизованого комплексу кокильного лиття. Застосування робота підвищує продуктивність і коефіцієнт використання технологічного обладнання. Разом з тим підвищується якість відливок, ливарники позбавляються від важкої праці.

Велика роль робототехніки полягає в обслуговуванні печей, камер та ванн термічної обробки деталей, де необхідно усувати тяжку працю людей.

В процесах термічної обробки деталей роботи застосовуються для завантаження та розвантаження печей і соляних ванн, для передачі деталей з однієї ванни до іншої, експресного контролю твердості оброблених деталей і складування. Тут необхідно застосовувати роботи зі захватами, спроможними функціонувати при температурах до 1300°C та бути корозійностійкими. Механізм маніпулятора робота повинен мати тепловий та антикорозійний захисти. Система автоматизації повинна забезпечувати стабільність параметрів термообробки.

Дистанційно керовані роботи та маніпулятори. Найважливішими проблемами робототехніки є безлюдний видобуток вугілля та інших копалин, гірничі розробки, видобуток нафти та газу на дні океанського шельфу, проведення робіт в космічному просторі, в системах атомної та термоядерної енергетики і т. ін. Дистанційне управління та управління діями роботів, маніпуляторів та других агрегатів організується, інколи, при безпосередньому візуальному спостереженні, але часто і поза їхньою видимістю. Спостереження при цьому провадиться телевізійними та іншими приладними засобами, а управління — різноманітними керуючими приладами з участю ЕОМ (у найпростіших випадках без неї). Якщо маніпуляційний механізм без автоматичних режимів, а відтворює лише рух руки оператора, це свідчить про дистанційно керований маніпулятор.

Якщо ж основна певна частина робочої операції запрограмована та вчиняється автоматично, а оператор лише задає ту чи іншу програму або втручається в управління лише в критичних випадках, то ми маємо справу з дистанційно керованим роботом. Спочатку розглянемо застосування дистанційно керованих роботів та маніпуляторів промислового призначення. Промислове застосування, в першу чергу, передбачає звернення до таких технологічних операцій, в яких вимагається постійне спостереження людини за ходом процесу, де потрібні впливи, що його корегують. Можлива лише часткова автоматизація та механізація елементів виробничого процесу, але разом з тим необхідно

усунути людину на певну відстань від місця проведення роботи, зважаючи на погані екологічні умови.

У такому випадку доцільно створення систем дистанційного управління маніпуляційними механізмами для різноманітних робіт, наприклад, металургів з гарячими об'єктами. Іншим прикладом може служити спеціальний ковальський маніпулятор (для напівавтоматичного ковальського виробництва важких виробів), що управляється людиною. Проте існують такі технологічні процеси, повна автоматизація яких економічно не вигідна. У таких випадках може бути знайдений “оптимальний” варіант, коли певна частина процесу автоматизована та може виконуватися маніпулятором або роботом. Але для ведення процесу в цілому додатково вимагаються деякі дії, які корегує людина. Це може бути здійснене з допомогою дистанційного спостереження та управління.

Типовим промисловим роботом з дистанційним управлінням є робот типу “Андромат”. Він має шість ступенів рухливості. Приводи гідравлічні. Механізм у вигляді пантографа забезпечує рух робочого органу (інструменту, схвату та ін.) в прямокутній системі координат при будь-яких поворотах ланок маніпулятора. Оператор в сидячому положенні управляє маніпулятором з допомогою задаючого механізму та керуючого держака. Місце оператора може бути встановлене на платформі, що обертається разом з маніпулятором або ж поза платформою.

Оператор може бути захищений прозорим ковпаком або розташуватися в закритій кабіні. При покиданні оператором сидіння вся машина автоматично зупиняється. Всі рухи маніпулятора управляються одним держакон на механізмі, що задає оператор. Позиціонування інструмента чи схвата та проведення ним роботи керується натиском кнопки на держаконі. Будь-який поворот держака на механізмі відтворюється маніпулятором, при цьому зусилля на маніпуляторі в багато разів збільшується у порівнянні з зусиллям оператора. Робоче зусилля оператор відчуває на держаконі, дякуючи зворотному зв'язку по силі.

В промисловості застосовуються різноманітні багатошарніріні збалансовані ручні маніпулятори, з допомогою яких людина звільняється від важкої фізичної праці при вантажно-розвантажувальних роботах.

Маніпуляційний механізм дозволяє встановлювати потрібні кути нахилу інструменту при свердленні отвору і регулювати швидкість подачі свердла, а гусеничне шасі забезпечує високу прохідність машини по пересіченій місцевості.

Підводні роботи. Охарактеризуємо коротко галузі застосування дистанційно керованих маніпуляторів та роботів в підводному просторі.

Для підводних робіт застосовуються маніпулятори, встановлені або на незаселених підводних апаратах, або на апаратах, де мешкає екіпаж з двох-трьох чоловік. В останньому випадку маніпулятори встановлюються зовні апарату та дистанційно управляються людиною з середини при спостереженні за ходом роботи крізь ілюмінатори.

Дистанційне управління незаселеним апаратом здійснюється людиною-оператором із надводного корабля, який постійно знаходиться над місцем проведення підводних робіт, по кабельній лінії зв'язку і на борт корабля передається телевізійне зображення підводної обстановки в зоні роботи від телекамери, встановленої на підводному апараті-роботі. Поряд з маніпуляторами там звичайно ставлять фотоапарати та прилади, що досліджують властивості підводного середовища. Підводні роботи обох типів застосовуються: для геологічних та гідробіологічних досліджень дна, розвідки в інтересах будівлі підводних споруд (в тому числі при видобутку нафти і газу), обслуговування будівництва, експлуатації та ремонту підводних споруд (після закінчення — для інспекції справності), обслуговування підйому затонувших об'єктів, прокладки кабелів та для інших робіт. На незаселених людьми апаратах більш прийнятне застосовування системи, що комбінує управління роботою маніпуляторів в автоматичному режимі по заздалегідь заданим програмам в комбінації з "ручним" дистанційним управлінням або в напівавтоматичному режимі від людини-оператора з пульта на надводному кораблі. Таким чином, людина здійснює, як правило, супервізорне управління, вмикаючи в роботу ті чи інші програми, а у випадку необхідності бере на себе ручне управління.

Безумовно, велике соціальне та економічне значення має заміна важкої та небезпечної праці водолазів на глибині шляхом використання незаселених дистанційно керованих з корабля або бази, інформаційно-пошукових та маніпуляційних роботів, а також невеликих заселених підводних апаратів (з маніпуляторами), що управляються, де людина, не виходячи з апарату, проводить необхідні підводні операції, спостерігаючи за обстановкою через ілюмінатори.

Космічні роботи. В нинішній час стали актуальними дистанційно керовані маніпулятори та роботи для космічного простору. З їх допомогою космонавт, не виходячи з космічного корабля, може виконувати зовнішні роботи по установці, зняттю та ремонту приладів, завантаженню та розвантаженню через відкриті люки, обслуговуванню технологічних модулів і т.ін. З допомогою космічних роботів, споряджених бортовою електронною обчислювальною машиною та комбінованою системою управління, може виконуватись складання нових конструкцій в космічному просторі з окремих, виведених на орбіту Землі, блоків.

Існують проекти створення великих космічних станцій, багатометрових антен та багатокілометрових сонячних енергетичних установок, великих телескопів. З використанням керованих роботів та маніпуляторів може здійснюватися рятування апаратів в аварійних ситуаціях. З допомогою телевізійної камери можна спостерігати за станом зовнішнього обладнання космічного апарату.

Обслуговування атомних, термоядерних установок. Іншою широкою областю застосування дистанційних маніпуляторів є обслуговування атомних, термоядерних та МГД-енергетичних установок, де вони працюють в умовах високої радіації та сильних магнітних полів. Тут треба виконувати комплекси маніпуляційних операцій як в процесі експлуатації енергетичної установки, так і при демонтажі, заміні та ремонті обладнання. Управління роботами, що виконують необхідні операції у робочих зонах енергетичної установки, здійснюється дистанційно системою, яка складається з центрального посту та постів управління роботами.

12.5. Комп'ютерні мережі сучасних виробництв

Локальні автоматизовані системи управління технологічними процесами об'єднують в локальні мережі. Це дозволяє в рамках ієрархії систем мати зв'язок як з верхнім рівнем керування, так і нижнім. Першою локальною мережею, дозволяючою з'єднувати ЕОМ для загального використання інформації являється мережа типу Ethernet розроблена Робертом Меткалфом (співробітником фірми Xerox). В основній версії визначені: фізична середа передачі даних (товстий коаксіальний кабель), метод керування доступом (множинний доступ з контролем несучої та визначенням конфліктів і швидкістю передачі даних — 10 Мбіт/с). Регламентується розмір від 72 до 1526 байт, зміст пакета і метод кодування даних (манчестерський код). Мережа розроблена для інформаційного обміну невеликими пакетами. Вона добре функціонує в середовищі з постійним напруженим трафіком.

Удосконалений варіант — стандарт IEEE 802.3, де визначено практично ідентичний порядок доступу множини робочих станцій до мережі для передачі інформації. Метод множинного доступу з контролем несучої та виявленням конфліктів (CSMA/CD) установлює такий порядок: якщо робоча станція хоче скористатися мережею для передачі даних, вона спочатку повинна перевірити стан каналу; починати передачу станція може тільки в тому випадку, коли канал вільний. В процесі передачі станція продовжує прослуховування мережі для виявлення можливих конфліктів. В мережах Ethernet та IEEE 802.3

конфлікти закладені в самому алгоритмі роботи. Мережа з конкуренцією, коли декілька робочих станцій повинні конкурувати одна з одною за право доступу до мережі.

Ethernet передбачує роботу тільки з 50-омним коаксіальним кабелем, тоді як стандартом 802.3 в справжній час підтримуються різні типи з'єднань — по коаксіальному кабелю різних типів та по кабелю на витих парах. Максимальна відстань для товстого коаксіального кабеля (50 Ом) — 500 м, тому стандарт 802.3 позначають як 10 Base5 (коаксіальний кабель — baseband coaxial cable) з швидкістю передачі 10 Мбіт/с на відстань до 500м. Тонкий кабель 10 Base2 забезпечує передачу сигналів на відстань 185 м, тоді як неекранованою витю парою рекомендується відстань до 100 м (10 BaseT), швидкість 10 Мбіт/с. Ethernet та 802.3 — шинні мережі. Шина — це канал передачі даних, окремі частини якої називають сегментами. Сегменти можна зв'язати, для збільшення розмірів мережі використовують повторювачі.

100-VG AnyLAN — реалізація мережі як комбінації Ethernet Token Ring, працюючої з швидкістю 100 Мбіт/с, передбачає підтримку волоконно-оптичних кабельних систем та екранованих витих пар. В цій системі використовується другий метод доступу — обробка запитів по пріоритету, при якому всім вузлам мережі представляється право рівного доступу. Концентратор опитує кожен порт та перевіряє наявність запиту на передачу. А потім дозволяє цей запит згідно з пріоритетом.

100 BaseX мережа, дозволяюча досягнути в Ethernet швидкості пердачі 100 Мбіт/с зі збереженням методу доступа CSMA/CD. Головна перевага технології 100 BaseX версій Ethernet заключається в тому, що ступінь її сумісності з існуючими мережами дозволяє інтегрувати її в ці мережі з допомогою мостів або двохшвидкісних мережних адаптерів.

Стандарт IEEE 802.5 мережі Token Ring — це локальна мережа без конкуренції, яка логічно являється кільцем, а фізично — зіркою. Кабелі до окремих робочих станцій йдуть по радіусам від концентратора — пристрою багатостанційного доступа. Стандарт передбачає швидкість передачі 4 Мбіт/с. Існують двохсторонні адаптери на 4 і 16 Мбіт/с. Діапазон типів кабелів для монтажу мережі Token Ring — від неекранованого телефонного провода категорії 3 до волоконно-оптичного кабеля та кабеля IBM класа передачі даних. Телефонний провід при наявності перешкод не дозволяє досягнути максимальної швидкості 4 Мбіт/с і може працювати з 72 станціями в той же час, коли на коаксіальному кабелі — 260.

SCADA системи. Система автоматизованого контролю та управління технологічними процесами включає в себе три основних

рівня: нижній (апаратуру збору даних і передачі управління), середній (механізми передачі даних) та верхній рівень (засоби відображення процесу). Перші два рівня формуються із датчиків та програмованих логічних контролерів. Вони утворюють власну диспетчерську систему управління та збору даних (Supervisory Control and Data Acquisition — SCADA). Третій рівень диспетчерського інтерфейса — реалізується програмними пакетами. Цей рівень не обов'язково присутній в SCADA системах, але сучасні вимоги до диспетчеризації технологічних процесів вимагають наявності товариського використання інтерфейса. На сьогодні існує ряд програмних пакетів для побудови повномасштабного операторського інтерфейса. Загальна назва MMI (ManMachine Interface) в перекладі ЛМІ (людино-машинний інтерфейс). Основні функції: моніторинг процесів, диспетчерське управління, тривожна сигналізація, регулювання, документування процесу, архівація даних.

Комплекс програм FIX, розроблений американською компанією Intellution. Комплекси FIX — інтерпретуючі системи, підтримуючі MMI функції та дозволяючі розробляти та експлуатувати в реальному масштабі часу системи контролю та регулювання верхнього рівня в SCADA-системах. До основних характеристик цих пакетів відноситься розподілена архітектура клієнт-сервер, порядок побудови та конфігурування, при якому процеси розробки та експлуатації системи можуть проходити паралельно (в режимі on line), уніфікація інтерфейса розробки та експлуатація з графічним інтерфейсом Windows, оперативна система гіпертекстової довідки.

Фірма Intellution виготовляє пакети промислової автоматизації з 1984 року. Перші комплекти програм працювали в операційній системі DOS. Потім були створені версії для Windows 3.11, OS/2, VMX, Windows NT. У 1995 році була випущена 32 розрядна версія для Windows 95 і для Windows NT. В цілях врахування інтереса використовувача є різні версії пакетів з різним розміром бази даних: від 40 точок вводу/вивода — FIX MMI/40 FIX DMACS (Distributed Manufacturing Automation Control Software).

Система “Флора” — це об'єктно орієнтоване, відкрите, переносиме, мультизадачне, розподілене, 32 розрядне середовище для розробки та виконання прикладень. 32 розрядні компоненти TRACE MODE для Windows NT. Нові системи TRACE MODE створені для роботи в жорстких умовах промислового виробництва. Це повністю 32 розрядні доповнення, використовуючі достоїнства Windows NT: пріоритетність, витісняючу багатозадачність та багатопотоковість. В комплект системи входять програми NT-MPB, Netlink-MPB, Supervisor. В програмах

підтримуються потужні функції резервування, забезпечувані TRACE MODE. Серед них:

- підтримка стану гарячого резерва контролерів з безударним переходом до роботи при відмові основного контролера (дублювання та троювання системи);
- напівфункціональне резервування на рівні операторських станцій;
- резервування на рівні плат пристроїв зв'язку з об'єктом;
- у випадку розриву мережі по основному адаптеру — автоматичний перехід на один з 10 резервних системних адаптерів;
- при повному припиненні мережного обміну, визваного, наприклад, розривом мережі, — автоматичне переключення обміну на RS 485;
- отримання коректних результатів вимірювання параметрів, контроль яких дублюється декількома датчиками; при цьому автоматично виводяться із аналізу недостовірні вимірювання і відключення від опитування датчиків.

Програма NT-MPB визначена для збору, обробки, графічної візуалізації даних та управління технологічними процесами в режимі реального часу (РЧ). Система спроможна приймати данні з 16 послідовних портів, обробляти їх за допомогою десятків встроєних алгоритмів, графічно відображати в зручній для оператора формі, вести архіви, генерувати і друкувати звіти, а також підтримувати мережний обмін з другими комп'ютерами і прикладеннями, використовуючи механізми DDE/NetDDE, ODBC. Ця програма має потужні мережні ресурси. З її допомогою можна створювати розподілені АСУ ТП, в які входить до 200 станцій. Мережний обмін може виконуватись по протоколам TCP/IP, NetBEUI, IPX. У всіх мережних комплексах TRACE MODE підтримується єдиний мережний астрономічний час, забезпечуючий автоматичну прив'язку всіх подій, зафіксованих розподіленим комплексом АСУ ТП.

Список літератури

1. Лосев А.К. Введение в специальность. Радиотехника. — М.: Высшая школа, 1980. — 234с.
2. Поляков В.Т. Посвящение в радиоэлектронику. — М.: Радио и связь, 1988. — 204с.
3. Тули М. Карманный справочник по электронике. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1993. — 175с.
4. Волик Б.Г. Теория управления. Терминология. — М.: Наука, 1988. — 55с.
5. Кауфман М., Сидман А. Практическое руководство по расчетам схем в электронике. Справочник. — М.: Энергоатомиздат. т.1, 1991. — 365с. т.2, 1993. — 289с.
6. Справочное пособие по основам электротехники и электроники. Под ред. А.В.Нетушила. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 344с.
7. Головатенко-Абрамова М.П., Лapidес А.М. Задачи по электронике. — М.: Энергоатомиздат, 1992. — 110с.
8. Муоцик Е. Таблицы аналогов цифровых интегральных микросхем. Справочник. Пер. со словацкого. — М.: Радио и связь, 1992. — 352с.
9. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы. Справочник. — Челябинск: Металлургия, 1989. — 348с.
10. Бойко В.И., Смоляк В.А. Радиоизотопные средства автоматики. — К.: ИСМО, 1998. — 340с.
11. Како Н., Яманэ Я. Датчики и микро-ЭВМ. Пер. с японск. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. — 120с.
12. Толковый словарь по вычислительным системам. Под ред В. Иллиноурта, Э.Л. Глейзера, И.К. Пайла. Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1989. — 567с.
13. Прудковский Б.А. Зачем металлургу математические модели. — М.: Наука, 1989. — 193с.
14. Бойко В.И., Смоляк В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами в черной металлургии. — Днепропетровск: ДГТУ, 1997. — 576с.
15. Серов Ю.В. Метрологическое обеспечение технологических процессов черной металлургии (метрология и информатика). Справочник в двух кн. — М.: Металлургия, 1993. Т.1 — 272с, т.2 — 352с.
16. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники. Введение в специальность. — М.: Высшая школа, 1990. — 224с.
17. Разевиг В.Д. Моделирование аналоговых электронных устройств на персональных ЭВМ. — М.: Росвузнаука, 1993. — 150с.

18. Микиша А.М., Орлов В.Б. Толковый математический словарь. Основные термины. — М.: Русский язык, 1989. — 241с.
19. Заморин А.П., Марков А.С. Толковый словарь по вычислительной технике и программированию. Основные термины. — М.: Русский язык, 1987. — 223с.
20. Аглицкий Д.С., Любченко С.А. Персональный компьютер и Windows для всех. — М.: Филинь, 1995. — 235с.
21. Коцюбинский А.О., Громов С.В. Современный самоучитель работы в сети Интернет. — М: Триумф, 1997. — 456с.
22. Юзвишин И.И. Информациология или закономерности информационных процессов и технологий в микро- и макромирах Вселенной. — М.: Молодая гвардия, 1996. — 215с.

Додаток 1 Основні терміни і поняття (російською мовою)

А

АБСОРБЦИЯ *ж.* радиоволн. *см.* ПОГЛОЩЕНИЕ радиоволн.

АВТОГЕНЕРАТОР *м.* Генератор с самовозбуждением, без внешнего воздействия преобразующий энергию источников питания в незатухающие колебания.

одноконтурный А. Автогенератор, содержащий один колебательный контур.

АВТОКОЛЕБАНИЯ *с мн.* Незатухающие периодические колебания, возникающие в нелинейных динамических системах при отсутствии периодических воздействий.

АВТОЛЕГИРОВАНИЕ *с.* Внедрение примеси из подложки интегральной микросхемы в наращиваемый эпитаксильный слой.

АВТОТРАНСФОРМАТОР *м.* Трансформатор, у которого обмотка низшего напряжения является частью обмотки высшего напряжения.

АВТОЭПИТАКСИЯ *ж.* Ориентированное наращивание на подложке интегральной схемы слоя вещества, отличающегося от подложки только примесным составом.

АКЦЕПТОР *м.* Дефект кристаллической решетки полупроводника, способный при возбуждении захватывать электрон из валентной зоны.

АМПЛИТУДА *ж.* 1. Наибольшее значение величины, совершающей гармонические колебания. 2. Наибольшее отклонение колеблющейся величины от некоторого значения, условно принятого за начальное нулевое.

АНАЛИЗ *м.* 1. Мысленное или физическое разделение явления, процесса или предмета на части, характеризующиеся определенными признаками. 2. Изучение общих свойств, отдельных характеристик или составных частей объекта или явления.

АНОД *м.* Электрод, присоединяемый к положительному полюсу источника тока.

АТОМ *м.* Наименьшая частица химического элемента, являющаяся носителем его химических свойств.

Б

БАЗА *ж.*

Б. полупроводникового прибора. Область полупроводникового прибора, в которую инжектируются неосновные для этой области носители заряда.

Б. транзистора. Средняя область биполярного транзистора, заключенная между эмиттерным и коллекторным р–п-переходами.

БАЛАНС *м.*

Б. амплитуд. Равенство амплитуды колебаний в колебательной (резонансной) цепи генератора амплитуде колебаний, создаваемых в этой цепи усилительным прибором благодаря обратной связи; одно из условий действия генератора с самовозбуждением; соответствует равенству энергии, теряемой в колебательной цепи автогенератора (вместе с подключенной к ней нагрузкой), и энергии, получаемой от усилительного прибора за счет источника питания и благодаря обратной связи.

Б. фаз. Совпадение фаз колебаний в колебательной цепи генератора и колебаний, создаваемых в этой цепи усилительным прибором благодаря обратной связи; одно из условий действия генератора с самовозбуждением.

БАРЬЕР *м.*

Б. потенциальный. В полупроводнике — граничная область между смежными участками, в которых потенциальная энергия частиц меньше, чем внутри этой области.

Б. Шотки. Потенциальный барьер в приконтактном слое полупроводника, граничащем с металлом.

БАТАРЕЯ *ж.* **электрическая Б.** Источник тока в виде электрически соединенных друг с другом гальванических элементов или аккумуляторов.

БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОР *м.* Релаксационный генератор импульсов, выполненный как усилитель с трансформаторной обратной связью.

В

ВАРИКАП *м.* Полупроводниковый диод с емкостью, зависящей от прикладываемого обратного напряжения; предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой емкостью.

ВАРИСТОР *м.* Полупроводниковый резистор с регулируемым сопротивлением, имеющий два вывода и обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой.

ВЕНТИЛЬ *м.* 1. *см. электрический ВЕНТИЛЬ.* 2. Устройство в виде нелинейного двухполюсника для передачи энергии по тракту в одном направлении с малым ослаблением, а в противоположном — с большим. 3. Часть логического элемента интегральной микросхемы, реализующая одну элементарную логическую функцию.

газоразрядный В. Электрический вентиль, ток в котором проходит через ионизированный газ.

полупроводниковый В. Электрический вентиль, ток в котором проходит через твердый полупроводник.

ртутный В. Газоразрядный вентиль с ртутным катодом и дуговым разрядом.

ферритовый В. Вентиль, пропускающий СВЧ сигнал в требуемом направлении с малыми потерями и не пропускающий сигнал в обратном направлении благодаря вращению плоскости поляризации волны в волноводе ферритовым стержнем.

электрический В. Электрический прибор, проводимость которого в значительной мере зависит от направления электрического тока.

ВЕРШИНА м. графа. Элемент графа, обозначающий определенное состояние.

ВЕТВЬ ж. В. электрической цепи. Участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же ток.

ВОЗБУЖДЕНИЕ с. Выход системы из состояния устойчивого равновесия.

ВОЛНА ж. электрическая В. Электромагнитная волна, вектор напряженности электрического поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряженности магнитного поля лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения.

электромагнитная В. Распространяющееся в пространстве изменение электромагнитного поля.

ВОЛНОВОД м. Канал, по которому распространяются волны; представляет собой участок среды распространения, ограниченный в одном или двух направлениях.

диэлектрический В. Волновод в виде стержня из диэлектрика или канал внутри диэлектрической среды, вдоль которых могут распространяться направляемые ими электромагнитные волны.

ВЫВОД м. Элемент электрической цепи устройства, служащий для его соединения с другим устройством.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ м. Устройство для преобразования переменного тока в постоянный.

ВЫПРЯМЛЕНИЕ с. Преобразование переменного тока в постоянный.

ВЫХОД м. В. устройства. Точки в электрической цепи устройства, с которых получают электрический сигнал, подвергшийся преобразованию в этом устройстве.

Г

ГАЗ м. Вещество, частицы которого движутся в его границах без существенного взаимодействия.

электронный Г. Совокупность электронов проводимости в кристалле или плазме.

ГАЛЬВАНОРЕЗИСТ *м.* Покрытие, защищающее участки печатной платы от электроосаждения проводящего покрытия.

ГЕНЕРАТОР *м.* Устройство для получения энергии заданного вида путем преобразования энергии другого вида.

Г. Газа. Элемент газоразрядного прибора, предназначенный для восполнения убыли газа, возникающей вследствие поглощения его электродами и оболочкой прибора.

Г. Ганна. Генератор СВЧ, действие которого основано на эффекте Ганна в полупроводниковом кристалле.

Г. Гармоник. Устройство для преобразования гармонических колебаний опорного генератора в колебания кратных частот — гармоники.

ждуший Г. Генератор импульсов, на выходе которого колебания отсутствуют, если нет запускающих импульсов.

импульсный Г. Генератор, вырабатывающий импульсные сигналы разной амплитуды, длительности и скважности.

квантовый Г. Генератор электромагнитных волн, действие которого основано на явлении вынужденного излучения возбужденных атомов, молекул, ионов.

кварцевый Г. Генератор электрических колебаний, частота которых стабилизируется кварцевым резонатором.

Г. накачки. Генератор, обеспечивающий периодическое изменение емкости конденсатора в параметрическом усилителе или генераторе колебаний.

опорный Г. фиксированной частоты, используемый для формирования колебаний или обработки сигналов с заданными частотами.

релаксационный Г. Автогенератор электрических колебаний, резко отличающихся по форме от гармонических.

Г. с внешним возбуждением. Усилитель мощности радиочастотных колебаний в радиопередатчике, получаемых от возбудителя — задающего генератора.

Г. сигналов. Генератор, вырабатывающий сигналы разных параметров.

электронный Г. Генератор, преобразующий энергию источника постоянного тока в энергию электрических колебаний требуемой частоты и формы с использованием электронных приборов.

ГЕНЕРАЦИЯ *жс.*

Г. импульсов. Преобразование энергии источника в энергию электрических импульсов.

Г. колебаний. Преобразование энергии источника в энергию колебаний (волн).

Г. носителей заряда. Генерация электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне полупроводника.

Г. оптических гармоник. Преобразование лазерного излучения с определенной частотой в излучения с частотами, кратными этой частоте, при прохождении его через нелинейную среду.

ГЕПТОД *м.* Электродная лампа с семью электродами: катодом, анодом и пятью сетками (двумя управляющими, двумя экранирующими с общим выводом и одной защитной).

ГРАФ *м.* 1. Абстрактный объект, состоящий из двух множеств: множества вершин (обычно изображаемых точками на плоскости) и множества направленных отрезков (ветвей), соединяющих вершины. 2. Изображение графа в виде рисунка.

Г. электрической цепи. Граф, отображающий схему электрической цепи, вершины которого соответствуют узловым точкам цепи, а ветви — ветвям этой цепи.

Д

ДВУПОЛЮСНИК *м.* Часть электрической цепи с двумя точками соединения с другими цепями.

ДИОД *м.* Двухэлектродный электрический прибор.

Д. Ганна. Полупроводниковый диод (не содержащий р-п перехода), действие которого основано на появлении отрицательного объемного сопротивления в однородном кристалле полупроводника при воздействии сильного электрического поля.

двухбазовый Д. Полупроводниковый диод с двумя базовыми выводами, расположенными по обе стороны от электронно-дырочного перехода, имеющий вольт-амперную характеристику с участком отрицательного сопротивления.

диффузный Д. Полупроводниковый диод, при изготовлении которого используется диффузия донорных или акцепторных примесей в полупроводниках.

емкостный Д. *см. ВАРАКТОР, ВАРИКАП.*

излучающий Д. Полупроводниковый диод, в котором при прохождении тока генерируется оптическое излучение в инфракрасной, видимой или ультрафиолетовой областях спектра.

импульсный Д. Диод, предназначенный для работы в импульсных режимах в быстродействующих импульсных устройствах.

коллекторный Д. Диод, образованный из транзистора при замыкании его эмиттера и базы.

лазерный Д. Полупроводниковый диод, источник монохроматического когерентного света, возникающего в области электронно-дырочного перехода при пропускании через него прямого тока.

переключательный Д. Полупроводниковый диод, предназначенный для применения в коммутирующих устройствах.

плоскостный Д. Полупроводниковый диод с плоскостным электронно-дырочным переходом.

Д. с барьером Шотки. см. *ДИОД Шотки*.

светоизлучающий Д. см. *СВЕТОДИОД*.

силовой Д. Полупроводниковый диод, предназначенный для использования в преобразователях электроэнергии.

Д. с междолинным переходом электронов. см. *ДИОД Ганна*.

сплавной Д. Полупроводниковый диод, в котором электронно-дырочный переход создается путем сплавления примесных веществ в материал исходной пластинки полупроводника.

точечный Д. Полупроводниковый диод с точечным электронно-дырочным переходом.

туннельный Д. Полупроводниковый диод, в котором носители заряда проходят сквозь потенциальный барьер за счет туннельного эффекта, что приводит к появлению на его вольт-амперной характеристике участка с отрицательным сопротивлением.

Д. Шотки. Полупроводниковый диод, действие которого основано на свойствах контакта металла и обедненного слоя полупроводника.

ДИПОЛЬ. м 1. см. *электрический ДИПОЛЬ*. 2. Симметричный вибратор, состоящий из двух одинаковых прямолинейных проводников, симметрично присоединенных к передатчику, приемнику или соединительной линии.

ДИФФУЗИЯ ж. 1. Проникновение частиц одного вещества в другое в направлении убывания их концентрации, обусловленное тепловым движением атомов, молекул и других частиц. 2. Процесс введения в материал атомов примесей с использованием диффузии (1).

ДИЕЛЕКТРИК м. Вещество, практически не проводящее электрический ток.

ДОНОР м. Дефект кристаллической решетки полупроводника, способный при возбуждении отдать электрон в зону проводимости.

ДРОССЕЛЬ м. Индуктивная катушка, которую включают в электрическую цепь для подавления переменной составляющей тока в цепи, либо для разделения или ограничения сигналов различных частот.

ДЫРКА ж. проводимости. Не занятое электроном энергетическое состояние в валентной зоне полупроводника.

Ё

ЁМКОСТЬ *ж.*

барьерная Ё. Электрическая ёмкость двойного слоя объемного заряда в электронно-дырочных переходах и переходах “металл-полупроводник”.

З

ЗАЗЕМЛЕНИЕ *с.* Электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических корпусов установок, аппаратуры и т.п.

ЗАРЯД *м. см. Электрический ЗАРЯД*

ЗАТУХАНИЕ *с.* 1. Ослабление физического процесса во времени или в пространстве. 2. Величина, характеризующая затухание (1).

ЗНАКОМЕСТО *с.* Информационное поле индикатора или его часть, необходимая и достаточная для отображения одного знака.

энергетическое З. Область значений полной энергии электронов в кристалле полупроводника, характеризуемая минимальным и максимальным значениями энергии.

И

ИЗОБРАЖЕНИЕ *с.* Отображающая какой-либо физический объект картина, получаемая за счет распределения тех или иных физических параметров объекта на поверхности или в пространстве.

ИМПЕДАНС *м.* Полное электрическое сопротивление синусоидальному переменному току электрической цепи, содержащей реактивные и резистивные элементы.

ИМПУЛЬС *м.*

И. опорного белого. Эталонный прямоугольный импульс с размахом от уровня гашения до номинального уровня белого.

пилообразный И. Импульс, нарастающий или спадающий по закону, близкому к линейному.

полевой гасящий И. Гасящий импульс, действующий в момент смены полей изображения.

прямоугольный И. Импульс напряжения или тока, форма которого близка к прямоугольной, а длительность вершины составляет не менее 0,7 от длительности импульса на уровне половины амплитуды.

И. синхронизации. *см. синхронизирующий ИМПУЛЬС*

синхронизирующий И. Импульс, управляющий режимом синхронности.

стробирующий И. Импульс, подаваемый на элемент аппаратуры для стробирования сигнала.

строчный гасящий И. Гасящий импульс, действующий в момент смены строк (во время обратного хода строчной развертки).

ИНВЕРТИРОВАНИЕ с. Процесс преобразования постоянного напряжения в переменное.

ИНВЕРТОР м. 1. Преобразователь постоянного тока в переменный. 2. Электрическая цепь или электронное устройство, изменяющее полярность или фазу электрического сигнала. 3. Электронная цепь, реализующая логическую функцию НЕ, или инверсию.

ИНДИКАТОР м. Прибор или устройство, осуществляющее индикацию.

ИНДИКАЦИЯ жс. Представление информации о ходе процессов или состоянии объекта наблюдения в форме, наиболее удобной для восприятия человека.

ИНТЕГРАТОР м. Устройство, мгновенное значение сигнала на выходе которого равно или пропорционально интегралу от функции, описывающей входное воздействие.

ИНФОРМАЦИЯ жс. 1. Мера уменьшения неопределенности при выборе различных возможностей. 2. Сведения о каких-либо событиях или предметах, являющиеся объектом для преобразования, хранения, передачи или непосредственного использования.

ИСТОК м. Электрод полевого транзистора, через который из канала вытекают носители заряда.

ИСТОЧНИК м.

И. питания. Источник электрической энергии, обеспечивающий функционирование устройства, системы.

К

КАНАЛ м. 1. Тракт передачи электрических сигналов. 2. *см. КАНАЛ связи.* 3. Центральная область полевого транзистора.

Аналоговый К. Канал передачи аналоговых сигналов.

Встроенный К. Канал в полевом транзисторе с изолированным затвором, создаваемый технологическим способом.

КАСКАД усиления. 1. Степень усилителя, содержащая усилительный элемент, цепи нагрузки и связи с предыдущими или последующими степенями. 2. Часть вторично-электронного умножителя, ограниченная

эмиттирующим диодом и следующим, более положительным диодом или анодом.

КАСКОД *м.* См. *каскадный УСИЛИТЕЛЬ*.

КАТОД *м.* 1. Источник электронов в электровакуумных приборах. 2. Отрицательный полюс источника тока или электрод прибора, присоединяемый к отрицательному полюсу источника тока.

КАТУШКА *ж.*

Индуктивная К. Элемент электрической цепи, предназначенный для использования его индуктивности и выполненный из провода, намотанного на каркас.

Кадровая К. Отклоняющая катушка, предназначенная для отклонения электронного луча кинескопа в вертикальном направлении.

Отклоняющая К. Катушка, создающая под действием протекающего по ней пилообразного тока переменное магнитное поле, отклоняющее электронный луч в электронно-лучевом приборе.

К. связи. Катушка, применяемая для индуктивной связи между отдельными цепями.

Строчная К. Отклоняющая катушка, предназначенная для отклонения электронного луча кинескопа в горизонтальном направлении.

Фокусирующая К. Индуктивная катушка, создающая продольное магнитное поле для фокусировки электронного луча или пучка.

КИНЕСКОП *м.* Приемная электронно-лучевая трубка, предназначенная для преобразования телевизионных сигналов в телевизионное изображение.

КЛЮЧ *м.* 1. Нелинейный (ламповый или полупроводниковый) элемент, осуществляющий под воздействием управляющих сигналов включение и выключение цепи нагрузки. 2. Данные, определяющие возможность доступа к другим данным.

КОДЕР *м.* Устройство, выполняющее кодирование.

КОДИРОВАНИЕ *с.* Преобразование дискретного сообщения в дискретный сигнал соответственно коду.

КОДОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ *м.* Устройство для преобразования кодов в процессе ввода, вывода и обработки информации.

КОЛЛЕКТОР *м.* 1. Электрод электровакуумного прибора, который собирает электроны или ионы. 2. Область полупроводникового прибора, назначением которой является экстракция носителей заряда из базовой области, и электрод, обеспечивающий связь внешней электрической цепи с коллекторной областью.

КОММУТАЦИЯ *ж.* Совокупность операций, обеспечивающих соединение цепей или каналов на период передачи сигналов или обмена информацией.

КОМПАРАТОР *м.* Устройство для сравнения двух сигналов.

КОНДЕНСАТОР *м.* Элемент электрической цепи, состоящий из двух или более проводящих обкладок (слоев, электродов), разделенных диэлектриком, и предназначенный для использования его электрической емкости.

КОНТАКТ *м.* Место перехода электрического тока из одного токопроводящего элемента цепи в другой.

КОНТУР *м.* 1. Замкнутый путь, образованный ветвями и узлами электрической цепи. 2. *см. КОНТУР графа.*

К. графа. Замкнутый путь, состоящий из последовательности однонаправленных ветвей графа, возвращающихся в данную вершину.

Л

ЛАЗЕР *м.* Генератор когерентного во времени и в пространстве излучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного излучения.

ЛАМПА *ж.* 1. Искусственный источник света. 2. Электровакуумный прибор.

электронная Л. Электровакуумный прибор, в котором создается поток электронов, управляемый с помощью специальных электродов (сеток).

М

МАРКИРОВКА *ж.* Совокупность знаков и символов на корпусе изделия.

МИКРОПРОЦЕССОР *м.* Программно-управляемое устройство в интегральном микроэлектронном исполнении, осуществляющее процесс обработки информации и управление им.

МИКРОСХЕМА *ж.* Микроэлектронное изделие, имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов и рассматриваемое как единое конструктивное целое (*см. тж. интегральная МИКРОСХЕМА*).

бескорпусная М. Микросхема, защищенная пленкой лака или тонким слоем герметизирующего компаунда, обеспечивающих защиту от внешних воздействий.

биполярная М. Микросхема, построенная на основе биполярных транзисторов n-p-n- или p-n-p-типа.

гибридная М. Микросхема, в которой наряду с выполненными на поверхности подложки пленочными элементами используются и навесные миниатюрные элементы.

интегральная М. Микросхема, ряд элементов которой нераздельно выполнен и электрически соединен между собой так, что она рассматривается как целое.

корпусная М. Микросхема в корпусе, предназначенная для монтажа в аппаратуре, не обеспечивающей защиты от воздействий окружающей среды.

многокристальная М. Микросхема, содержащая два или более полупроводниковых кристалла, которые отдельно присоединяются к подложке или к ножке корпуса.

цифро-аналоговая М. Микросхема для преобразования и обработки дискретных и аналоговых сигналов, а также для преобразования сигналов из одной формы в другую.

цифровая М. Микросхема для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции.

Н

НАГРУЗКА *жс.*

анодная Н. Элемент цепи анода с активным или комплексным сопротивлением.

согласованная Н. 1. Нагрузка, параметры которой соответствуют получению в ней наибольшей мощности. 2. Нагрузка линии, при которой в линии отсутствует отраженная волна.

электрическая Н. Нагрузка в цепи переменного или постоянного тока, характеризующая мощность, фактически отдаваемую источником электрической энергии, и соответствующий ей ток.

НАКАЛ *жс. катода.* Нагрев катода электровакуумного прибора для получения термоэлектронной эмиссии.

НАПРЯЖЕНИЕ *с. см. электрическое НАПРЯЖЕНИЕ.*

Н. анода. Разность потенциалов между катодом и анодом электровакуумного прибора.

Н. возникновения разряда. Наименьшее значение напряжения между электродами газоразрядного прибора, при котором возникает разряд данного вида.

Н. модуляции. Напряжение на управляющем электроде электронно-лучевого прибора, вызывающее изменение яркости или тока луча от уровня запаряния до заданного значения.

Н. накала. Напряжение между выводами катода прямого накала или выводами подогревателя катода косвенного накала электровакуумного прибора.

обратное Н. Напряжение с полярностью, при которой прибор с одной стороны проводимостью не проводит тока (или этот ток очень мал).

Н. питания. Напряжение, подводимое к устройству для обеспечения его энергией, необходимой для нормального функционирования.

Н. пробоя. Вызывающее пробой напряжение между электродами, через которые при меньшем напряжении ток практически не проходит.

развертывающее Н. Напряжение, определяющее траекторию и скорость перемещения электронного пучка электронно-лучевой трубки в отсутствие внешнего сигнала.

Н. смещения. Напряжение управляющего электрода электронного прибора без входного напряжения сигнала при заданных условиях рабочего режима.

Н. смыкания. Обратное напряжение на коллекторном переходе транзистора, при котором происходит смыкание объединенных слоев коллекторного и эмиттерного переходов и нормально разделяющая их нейтральная область базы исчезает.

электрическое Н. Скалярная величина, представляющая собой энергетическую характеристику электрического поля; численно равна работе, совершаемой силами результирующего электрического поля при перенесении единичного положительного заряда вдоль рассматриваемого участка (единица в СИ — вольт, В).

О

ОКТОД *м.* Восьмиэлектродная электронная лампа, имеющая анод, катод, управляющий электрод и пять дополнительных электродов (сеток).

ОСЦИЛЛОГРАФ *м.* Прибор для исследования изменений электрических величин во времени путем визуального наблюдения и/или регистрации.

П

ПОГЛОЩЕНИЕ *с.* Рассеяние энергии волн в среде, где волна распространяется, например, в виде тепла.

ПОЛУПРОВОДНИК *м.* Вещество, которое по своей удельной электрической проводимости является промежуточным между проводником и диэлектриком.

аморфный П. Аморфное вещество, обладающее свойствами полупроводника.

варизонный П. Полупроводник, у которого вследствие плавного изменения состава ширина запрещенной зоны неодинакова по площади кристалла.

несобственный П. см. *примесный ПОЛУПРОВОДНИК*.

органический П. Твердое органическое вещество, имеющее либо приобретающее под влиянием внешних воздействий электронную или дырочную проводимость и положительный температурный коэффициент электропроводности.

скомпенсированный П. Примесный полупроводник, в котором в нормальных условиях концентрации электронов проводимости и дырок одинаковы.

сложный П. Полупроводник, основной состав которого образован атомами двух или большего числа химических элементов.

П. *n*-типа. Электронный полупроводник.

П. *n*⁺-типа. Сильно легированный электронный полупроводник с низким удельным сопротивлением.

ПРОВОДНИК *м*. Вещество, обладающее значительной электропроводностью.

Р

РАЗРЯД *м*. 1. см. *электрический РАЗРЯД*. 2. Порядковый номер символа в дискретной последовательности или ее блоке.

электрический Р. Процесс прохождения электрического тока в веществе за счет накопления электрических зарядов при искусственном или самопроизвольном увеличении проводимости среды.

РЕГИСТР *м*. Радиоэлектронное устройство, осуществляющее прием, хранение, преобразование и выдачу чисел в определенном коде.

РЕЗИСТОР *м*. Элемент электрической цепи, в которой происходит необратимое преобразование электромагнитной энергии в тепловую или в другие виды энергии; основным свойством резистора является его электрическое сопротивление.

диффузный Р. Резистор, изготовленный с использованием диффузии.

изолированный Р. Резистор с изоляционным покрытием или в корпусе, допускающий касание поверхностью резистора или его корпусом токоведущих и токопроводящих частей аппаратуры.

магнитоуправляемый Р. см. *МАГНИТОРЕЗИСТР*.

металлофольговый Р. Резистор с резистивным элементом из фольги определенной конфигурации.

ниточный Р. Резистор, линейный размер которого по оси значительно превышает его диаметр.

объемный Р. Резистор, резистивный элемент которого представляет собой спрессованный при высокой температуре стержень из композиции проводящих и диэлектрических материалов.

пленочный Р. Резистор в виде пленки, нанесенной на изоляционное основание.

тонкопленочный Р. Резистор, изготовленный методом нанесения тонкой резистивной пленки на пассивную подложку.

С

САМОВОЗБУЖДЕНИЕ *с.* Самопроизвольное возникновение не затухающих колебаний в устройстве при отсутствии внешних воздействий.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ *ж.* Явление скачкообразного падения до нуля электрического сопротивления веществ при уменьшении температуры ниже некоторого ее критического значения, характерного для данного вещества.

СВЕРХПРОВОДНИК *м.* Вещество, способное при определенных условиях быть в состоянии сверхпроводимости.

СЕТКА *ж.*

экранирующая С. Сетка электровакуумного прибора, расположенная между управляющей сеткой и анодом и предназначенная для уменьшения электростатического влияния анода в пространстве между управляющей сеткой и катодом.

С. электровакуумного прибора. Электрод электровакуумного прибора, управляющий электронным потоком или участвующий в его формировании.

СИГНАЛ *м.* Изменяющаяся физическая величина, однозначно обозначающая сообщение (*ст. тж. СИГНАЛЫ*).

СЛОЙ *м.*

антизапирающий С. Слой с повышенной плотностью носителей заряда, образующийся при определенных условиях на контакте металл-полупроводник, не обладающий выпрямляющими свойствами.

запирающий С. Обедненный слой между двумя областями полупроводника с различными типами электропроводности или между полупроводником и металлом, обладающий свойством односторонней проводимости.

СТАБИЛИЗАТОР *м.* Устройство, с помощью которого автоматически поддерживается заданное соотношение между стабилизируемым параметром и опорной или эталонной величиной.

ферромагнитный С. напряжения. Стабилизатор напряжения, в котором для компенсации изменений питающего напряжения используется явление магнитного насыщения в ферромагнитных сердечниках трансформатора.

СХЕМА *жс.* 1. Чертеж, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части устройства, изделия или системы связи между ними. 2. *см. электрическая СХЕМА.*

большая интегральная С. Интегральная микросхема с высокой степенью интеграции, содержащая более 1000 элементов и компонентов.

интегральная С. *см. интегральная МИКРОСХЕМА.*

печатная С. Совокупность печатных проводников и печатных электро- и радиоэлементов, нанесенная на поверхность изоляционного основания.

принципиальная С. Схема, определяющая полный состав элементов изделия и связей между ними и, как правило, дающая общее представление о принципах работы изделия.

сверхбольшая интегральная С. Интегральная микросхема с числом элементов на кристалле более 10^4 .

С. с общей базой. Схема включения биполярного транзистора, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является база транзистора.

С. с общей сеткой. Схема включения электронной лампы, при которой общим электродом для входной и выходной цепей является управляющая сетка лампы.

С. с общим анодом. Схема включения электронной лампы, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является анод лампы.

С. с общим затвором. Схема включения полевого транзистора, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является управляющая затвор транзистора.

С. с общим истоком. Схема включения полевого транзистора, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является управляющая исток транзистора.

С. с общим катодом. Схема включения электронной лампы, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является катод лампы.

С. с общим коллектором. Схема включения биполярного транзистора, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является коллектор транзистора.

С. с общим стоком. Схема включения полевого транзистора, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является управляющая сток транзистора.

С. с общим эмиттером. Схема включения биполярного транзистора, в которой общим электродом для входной и выходной цепей является эмиттер транзистора.

структурная С. Схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи и служащая для общего ознакомления с изделием.

функциональная С. Схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в целом изделии и используемая для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, регулировке, контроле и ремонте.

эквивалентная С. Схема замещения, в которой величины, подлежащие рассмотрению, имеют те же значения, что и в исходной замещаемой схеме.

электрическая С. Графическое изображение электрических цепей, содержащее условные обозначения элементов цепей и показывающее связи этих элементов между собой.

СХЕМОТЕХНИКА ж. Принципы и методы синтеза и реализации схем радиоэлектронных устройств, обеспечивающие их оптимальные характеристики на основе использования физических свойств и технических возможностей разнообразных электронных приборов электро-радио-компонентов.

Т

ТЕТРИСТОР м. Тиристор с управлением по двум входным цепям.

ТЕТРОД м. Четырехэлектродная электронная лампа, имеющая анод, катод, управляющий электрод и дополнительный электрод — экранирующую сетку.

ТИРИСТОР м. Полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три или более переходов, который может переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот.

ТОК м. см. электрический ТОК.

анодный Т. Электрический ток в цепи анода электронной лампы.

диффузионный Т. Электрический ток в полупроводнике, возникающий при диффузии носителей заряда из области, где их концентрация повышена, в направлении области с более низкой концентрацией.

дрейфовый Т. Электрический ток в полупроводнике, обусловленный движением в проводнике носителей заряда под действием электрического поля.

ионный Т. Электрический ток, обусловленный движением ионов в междуэлектродном пространстве электровакуумного прибора.

темновой Т. Электрический ток в цепи анода фотоэлектронного прибора при отсутствии облучения фотокатода.

Т. электронного пучка. Электрический ток через заданное поперечное сечение электронного пучка электронно-лучевого прибора.

ТРАНЗИСТОР *м.* Полупроводниковый прибор с двумя или болеем р-п-переходами и тремя или более выводами, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний (*см. тж. ТРАНЗИСТОРЫ*).

биполярный Т. Транзистор, действие которого основано на переносе как основных, так и неосновных носителей заряда.

диффузионно-сплавной Т. Транзистор, изготовленный путем введения примесей с помощью процессов диффузии и сплавления.

дрейфовый Т. Биполярный транзистор, в котором перенос неосновных носителей заряда через базовую область осуществляется, в основном, посредством дрейфа.

лавинный Т. Биполярный транзистор, действие которого основано на использовании режима лавинного размножения носителей заряда в коллекторном переходе.

Т. на “горячих” электронах. *см. ТРАНЗИСТОР с металлической базой.*

плоскостный Т. Биполярный транзистор с плоскостными переходами.

полевой Т. Транзистор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемым электрическим полем.

полевой Т. с изолированным затвором. Полевой транзистор, имеющий один или несколько затворов, электрически изолированных от проводящего канала.

полевой Т. с управляющим переходом. Полевой транзистор, у которого затвор электрически отделен от канала закрытым р-п-переходом.

симметричный Т. Биполярный или полевой транзистор, сохраняющий свои электрические характеристики при взаимной замене включения выводов эмиттера или истока и коллектора или стока.

Т. с металлической базой. Транзистор, в котором перенос заряда осуществляется только электронами, не находящимися в тепловом равновесии с кристаллической решеткой (так называемыми “горячими” электронами).

ТРИОД *м.* Трехэлектродный электронный усилительный прибор.

У

УСИЛЕНИЕ *с.*

параметрическое У. Усиление электромагнитных колебаний за счет работы, совершаемой внешними источниками энергии при периодическом изменении во времени реактивных параметров колебательной системы.

УСИЛИТЕЛЬ *м.* Устройство, предназначенное для увеличения мощности, напряжения или тока сигнала, подведенного к его входу, за счет использования энергии вспомогательного источника.

апериодический У. Усилитель, дающий одинаковое усиление в широком диапазоне волн.

двухтактный У. Усилитель, в котором входной сигнал поступает одновременно во входные цепи двух усилительных элементов или двух групп усилительных элементов, соединенных параллельно, со сдвигом по фазе на 180° .

дифференциальный У. Усилитель, выходной сигнал которого пропорционален разности двух входных сигналов.

диэлектрический У. Усилитель, в котором усиление электрического напряжения осуществляется изменением емкости конденсатора с сегнетоэлектриком при изменении подводимого к нему напряжения.

У. звуковой частоты. Электронный усилитель сигналов звуковой частоты.

импульсный У. Усилитель, предназначенный для усиления импульсов тока или напряжения с минимальными искажениями их формы.

инвертирующий У. Усилитель, изменяющий фазу гармонического сигнала на 180° или полярность импульсного сигнала на противоположную.

каскадный У. Усилитель, содержащий два активных элемента (вакуумных триода или транзистора), последовательно включенных так, что один из них является нагрузкой для другого.

квантовый У. Усилитель, в котором используется вынужденное излучение для усиления электромагнитных волн.

лазерный У. Усилитель электромагнитного излучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного излучения.

ламповый У. Усилитель, в котором усилительным элементом является электронная лампа.

логарифмический У. Усилитель, выходной сигнал которого приблизительно пропорционален логарифму входного сигнала.

магнитный У. Усилитель мощности, тока или напряжения в электрической цепи переменного тока, действие которого основано на использовании нелинейных свойств ферромагнитных сердечников.

малошумящий У. Усилитель, в котором приняты специальные меры снижения уровня собственных шумов, способных вуалировать усиливаемый слабый сигнал.

масштабный У. Усилитель, изменяющий уровень аналогового сигнала в заданное число раз с высокой точностью.

многокаскадный У. Усилитель, состоящий из нескольких следующих друг за другом усилительных каскадов.

молекулярный У. Усилитель сверхвысокочастотных колебаний, основанный на использовании законов поглощения и излучения электромагнитных волн молекулами, в спектре которых содержатся спектральные линии, лежащие в диапазоне сверхвысоких частот.

У. мощности. Усилитель, обеспечивающий при определенной внешней нагрузке усиление мощности электромагнитных колебаний до заданного значения.

операционный У. Многокаскадный усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления и входным сопротивлением, дифференциальным входом и несимметричным выходом с малым выходным сопротивлением, предназначенный для работы в устройствах с глубокой отрицательной обратной связью.

парамагнитный У. Квантовый усилитель сверхвысокой частоты, рабочим веществом которого является кристалл с примесью парамагнитных ионов.

параметрический У. Усилитель, в котором усиление сигнала осуществляется за счет преобразования энергии источника накачки в энергию сигнала путем периодического изменения реактивного сопротивления.

парафазный У. Усилитель, применяемый для формирования двух противофазных напряжений.

полосовой У. Усилитель, работающий при фиксированной средней частоте спектра сигнала и приблизительно одинаково устанавливающий сигнал в заданной полосе частот.

У. постоянного тока. Усилитель медленно меняющихся входных напряжений или токов, граничная частота которых равна нулю.

предварительный У. Усилитель, предназначенный для усиления сигнала до величины, необходимой для нормальной работы оконечного усилителя.

У. промежуточной частоты. Усилитель сигналов промежуточной частоты, поступающих с преобразователя частот.

У. радиочастоты. Усилитель, усиливающий полезный сигнал на частотах, с которыми он излучается и распространяется в виде радиоволн.

регенеративный У. Усилитель, действующий за счет вносимого в резонатор отрицательного сопротивления.

резисторный У. Усилитель, в котором анодной или коллекторной нагрузкой является резистор.

резонансный У. Усилитель сигналов с узким спектром частот, лежащих в полосе пропускания резонансной цепи, являющейся его нагрузкой.

селективный У. Усилитель, у которого коэффициент усиления максимален в узком диапазоне его частот и минимален за его пределами.

У. со скрещенными полями. Усилитель на сверхвысокочастотном электровакуумном приборе М-типа, в котором взаимодействие электронного потока с электромагнитным полем происходит в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях.

У. с трансформаторной связью. Усилитель, в котором элементом связи между каскадами является резистор.

фотоэлектрический У. Усилитель электрического тока фотоэлектрического преобразователя.

электронный У. Усилитель электрических сигналов, в котором функции усилительного элемента выполняет полупроводниковый прибор или электронная лампа.

Ф

ФАЗА ж. 1. Периодически изменяющийся аргумент функции, описывающей колебательный или волновой процесс. 2. Мера “попадания” в заданный такт или выхода из заданного такта периодического колебания, измеряемая в угловых единицах или долях периода.

Ц

ЦЕПЬ ж. см. электрическая ЦЕПЬ.

входная Ц. радиоприемника. Электрическая цепь, предназначенная для передачи радиочастотного сигнала от антенны в последующие цепи радиоприемника и предварительного ослабления помех.

Ц. затвора. Замкнутая электрическая цепь, состоящая из участка “затвор-исток” полевого транзистора и внешней части цепи между затвором и истоком.

Ч

ЧИП м. Полупроводниковый кристалл, в объеме и/или поверхности которого сформированы элементы интегральной микросхемы, а также межэлементные соединения и контактные площадки.

Э

ЭЛЕКТРОД *м.* Проводящий элемент определенной формы, связывающий электрическую цепь со средой, в которой он вызывает процессы движения электрических зарядов или управляет этим движением.

ЭЛЕКТРОН *м.* Стабильная элементарная частица с отрицательным элементарным зарядом, входящая в состав всех атомов и молекул, строение электронных оболочек которых определяет физические и химические свойства вещества.

Э. проводимости. Электрон, способный относительно легко перемещаться в объеме металла или полупроводника, выходить на их поверхность и уходить с поверхности в окружающее пространство, если он обладает достаточно большой энергией.

ЭЛЕКТРОНИКА *ж.* 1. Наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и о методах создания электронных приборов и устройств, используемых для передачи, обработки, хранения, воспроизведения и использования информации. 2. Область техники, в основе которой лежит использование электронных приборов.

ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТ *м.* Дискретный элемент радиотехнической цепи (например, транзистор, резистор, диод), выполняющий в ней определенную функцию.

ЭЛЕМЕНТ *м.*

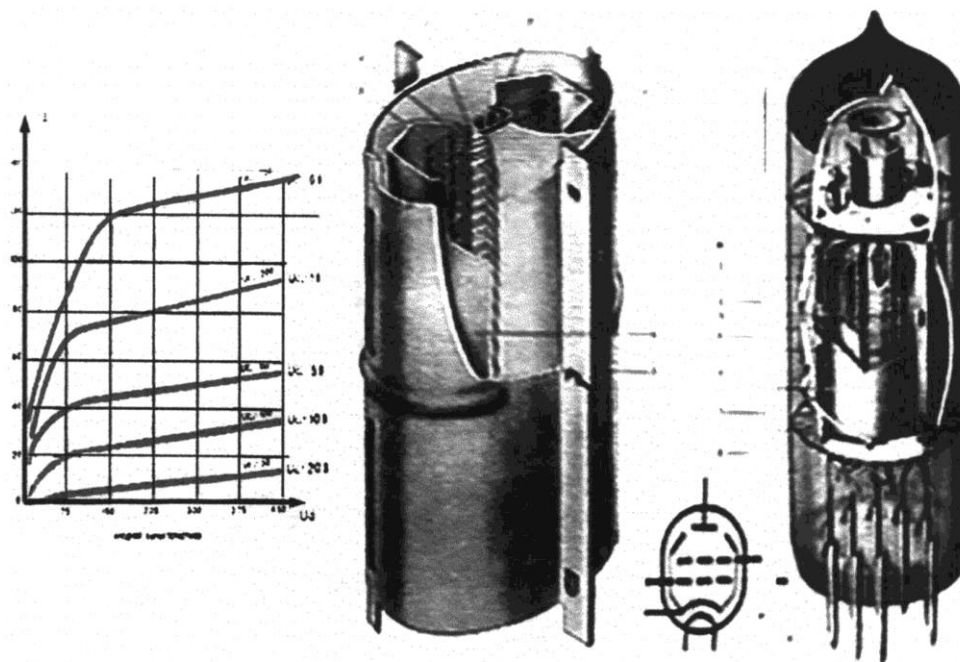
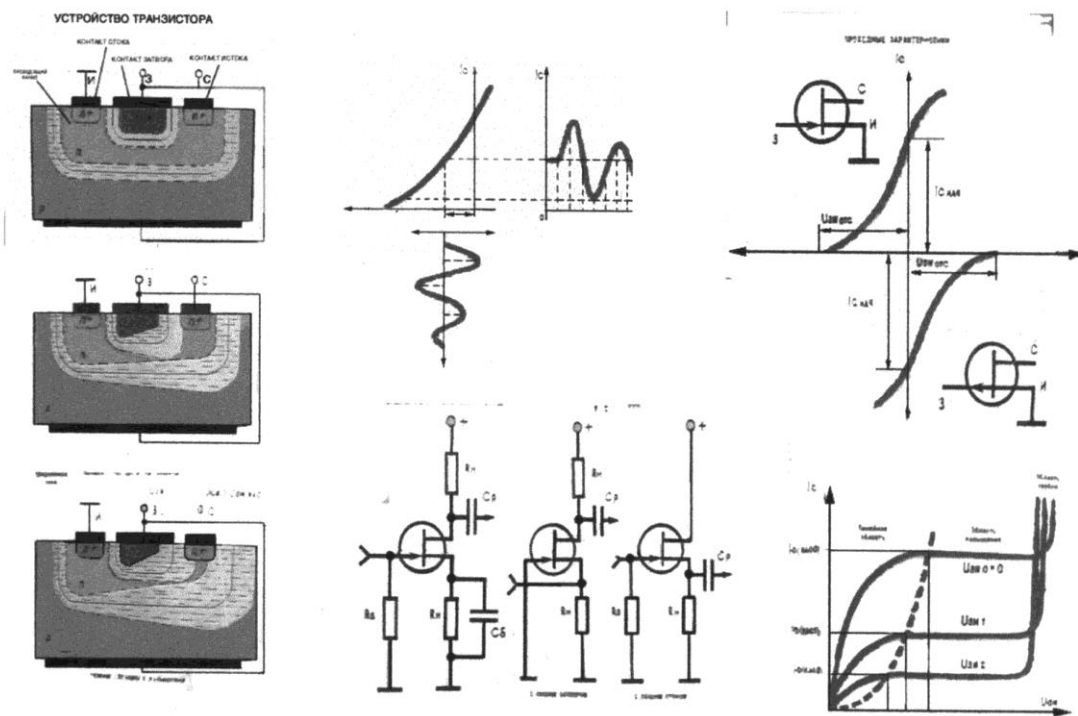
активный Э. цепи. Элемент электрической цепи, способный усиливать мощность проходящих через него электрических сигналов.

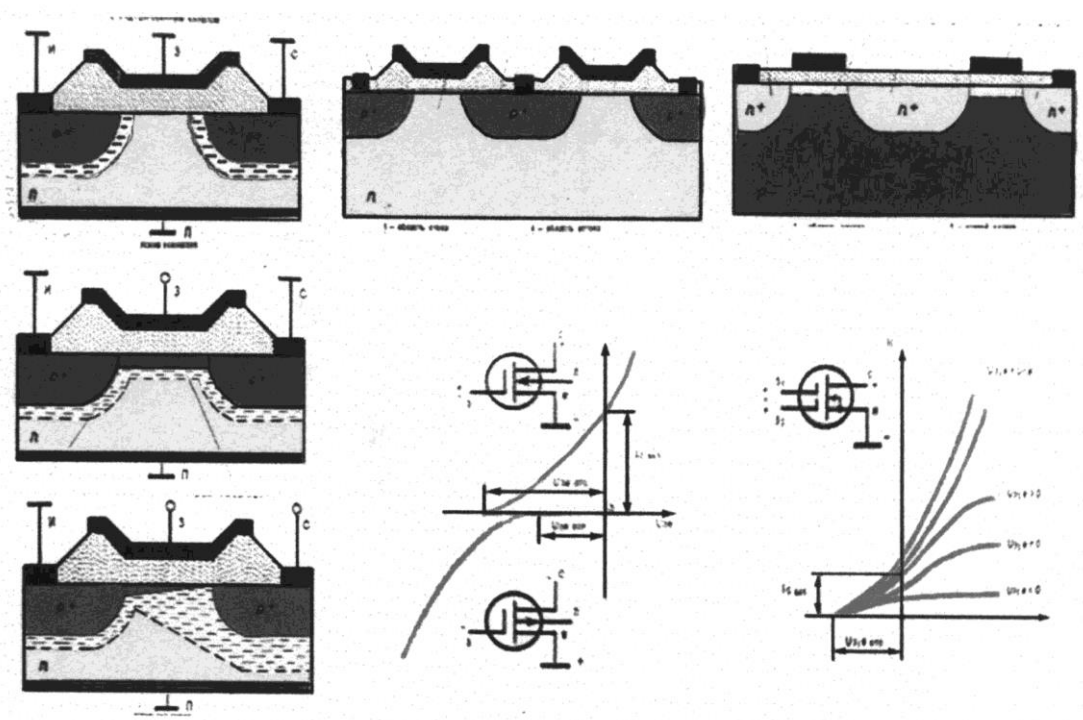
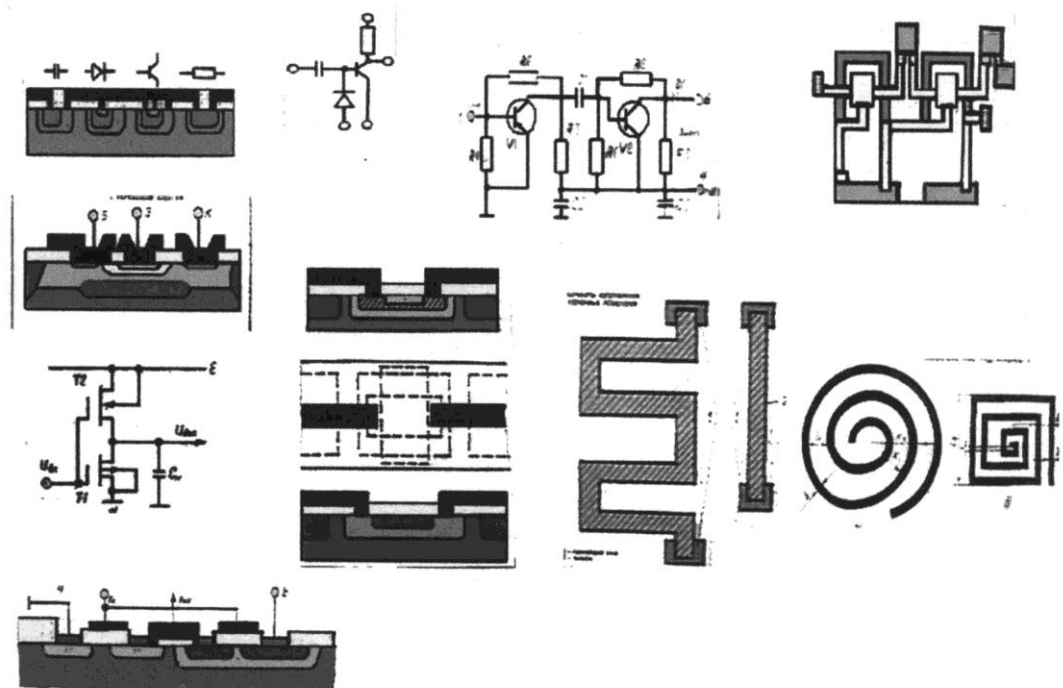
ЭМИССИЯ *ж.*

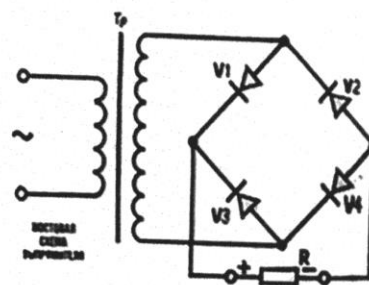
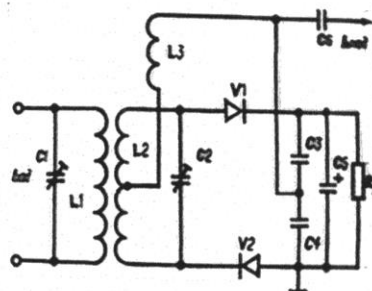
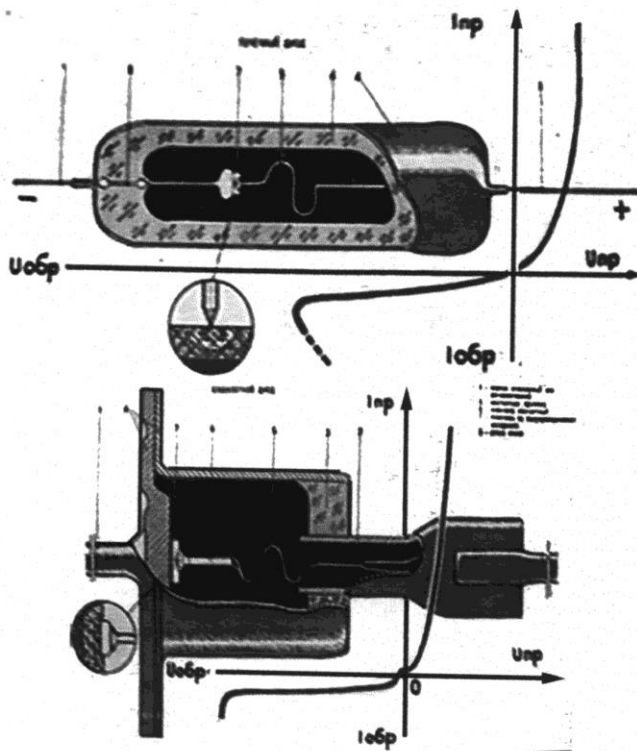
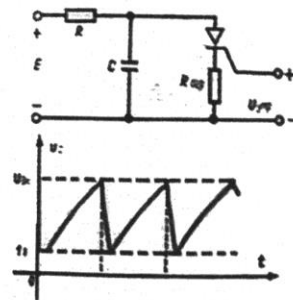
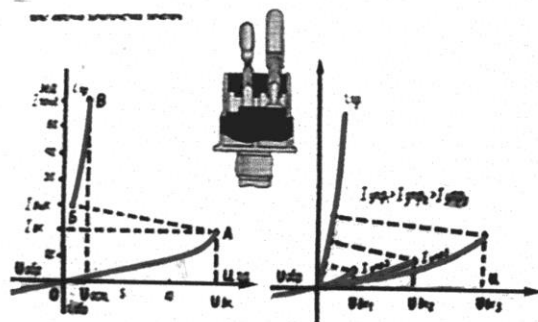
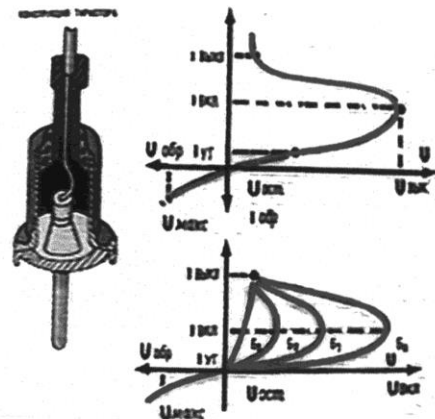
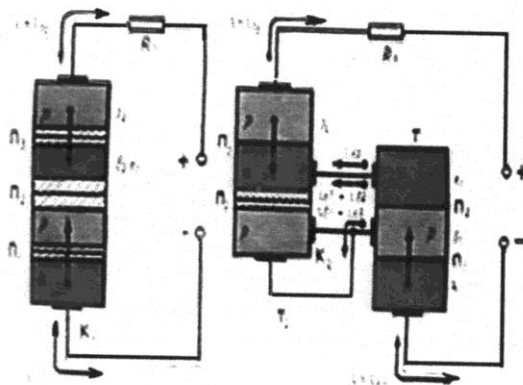
автоэлектронная Э. Выход электронов из металла или полупроводника под действием сильного электрического поля, которое создается у поверхности металла или полупроводника, играющих роль катода.

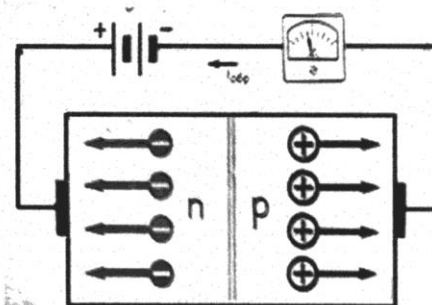
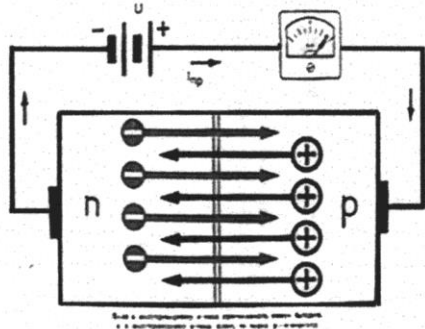
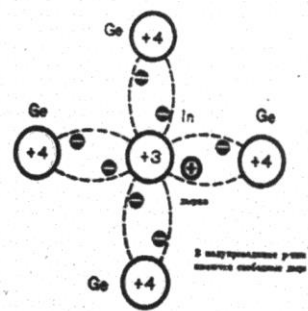
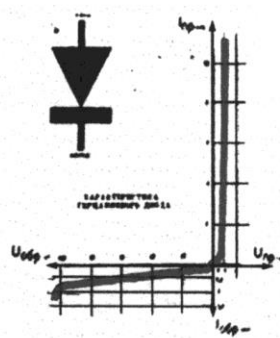
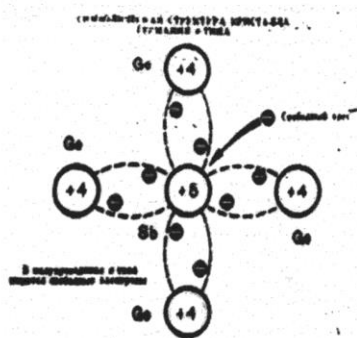
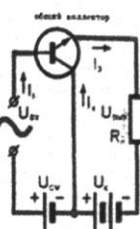
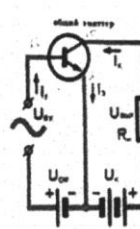
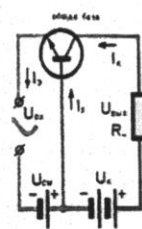
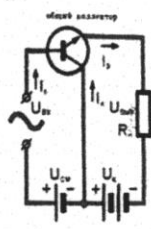
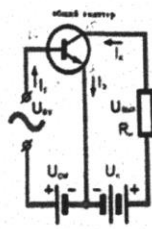
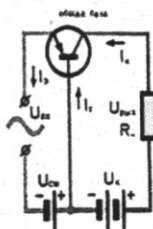
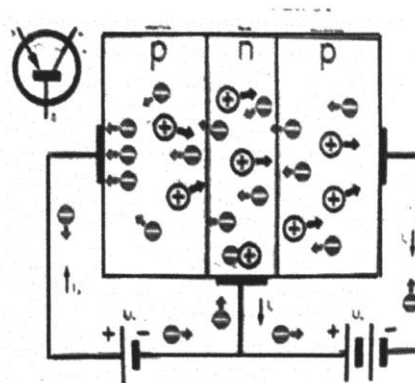
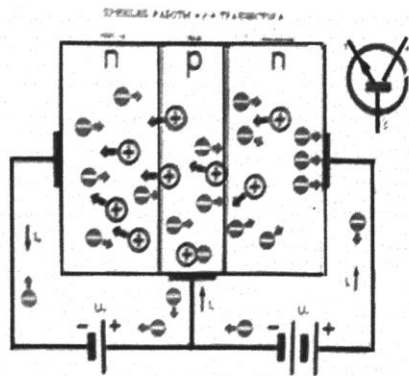
ЭМИТТЕР *м.* 1. Область полупроводникового прибора, назначением которой является инжекция носителей заряда в базовую область. 2. Тело (электрод), испускающее электроны под воздействием высокой температуры или сильного электрического поля.

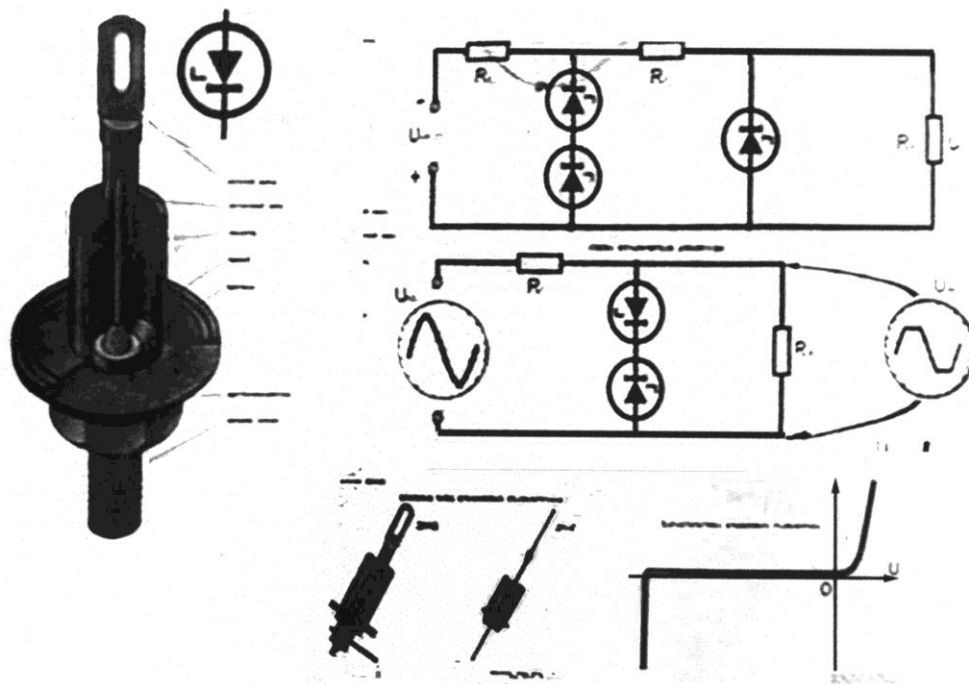
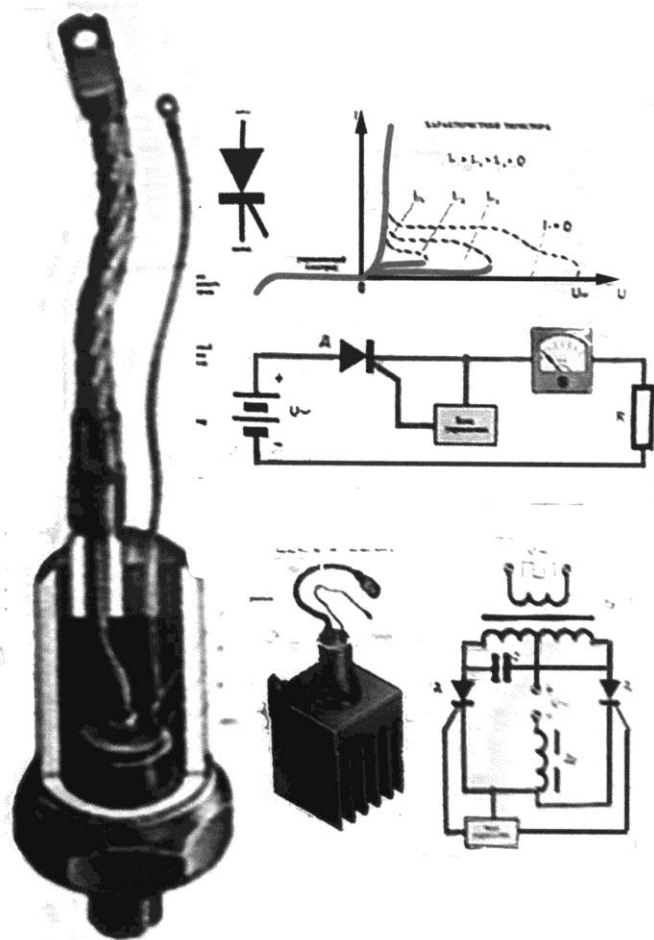
Додаток 2. Приклади електронних компонентів

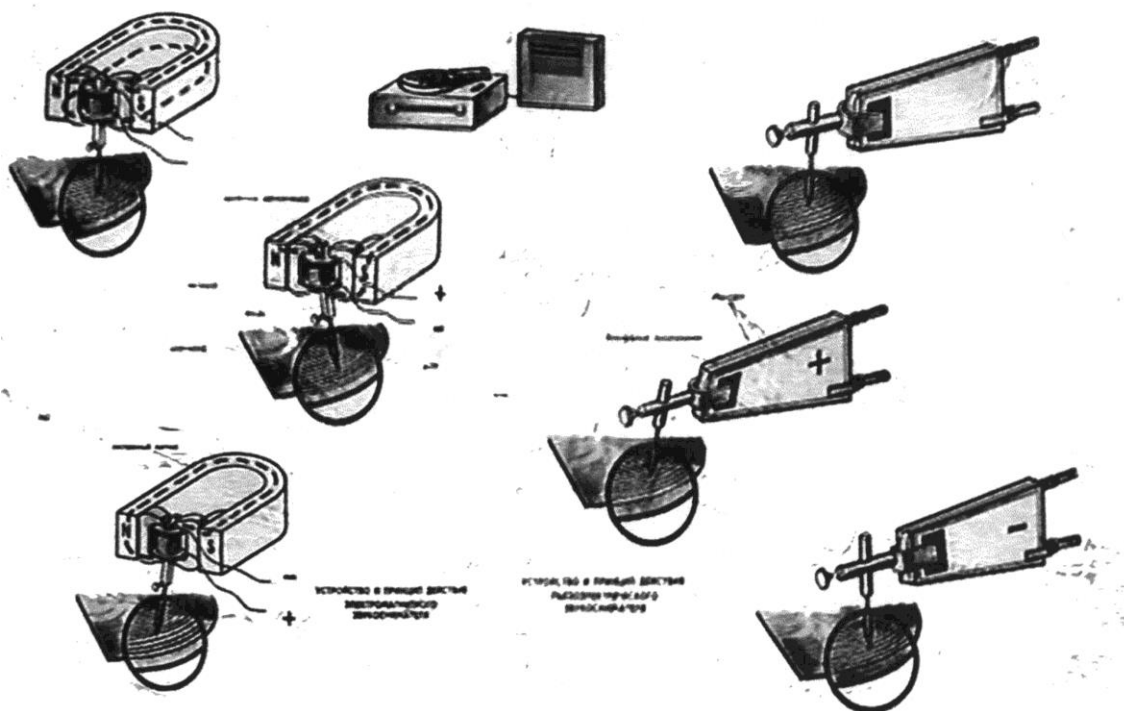
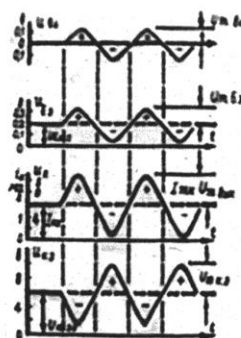
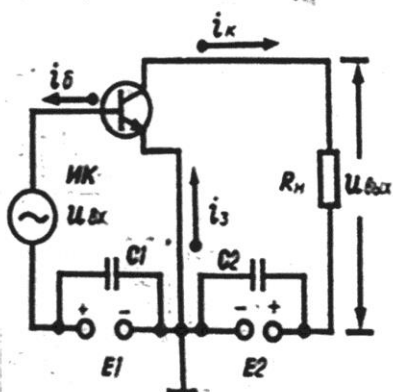
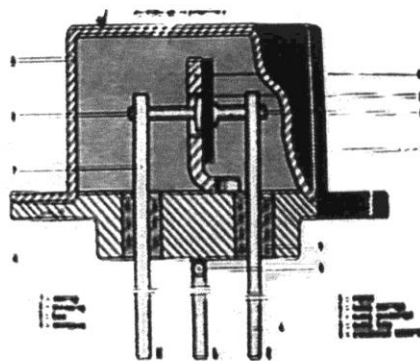
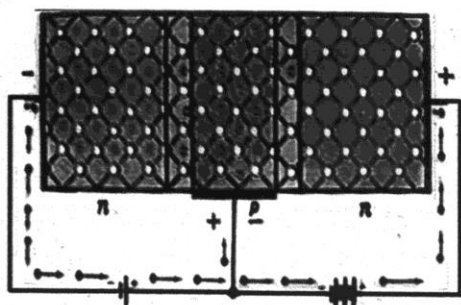


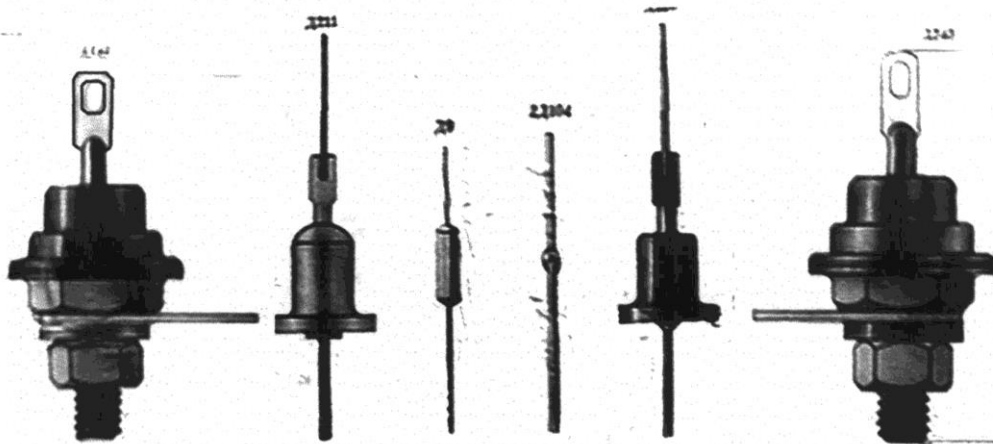
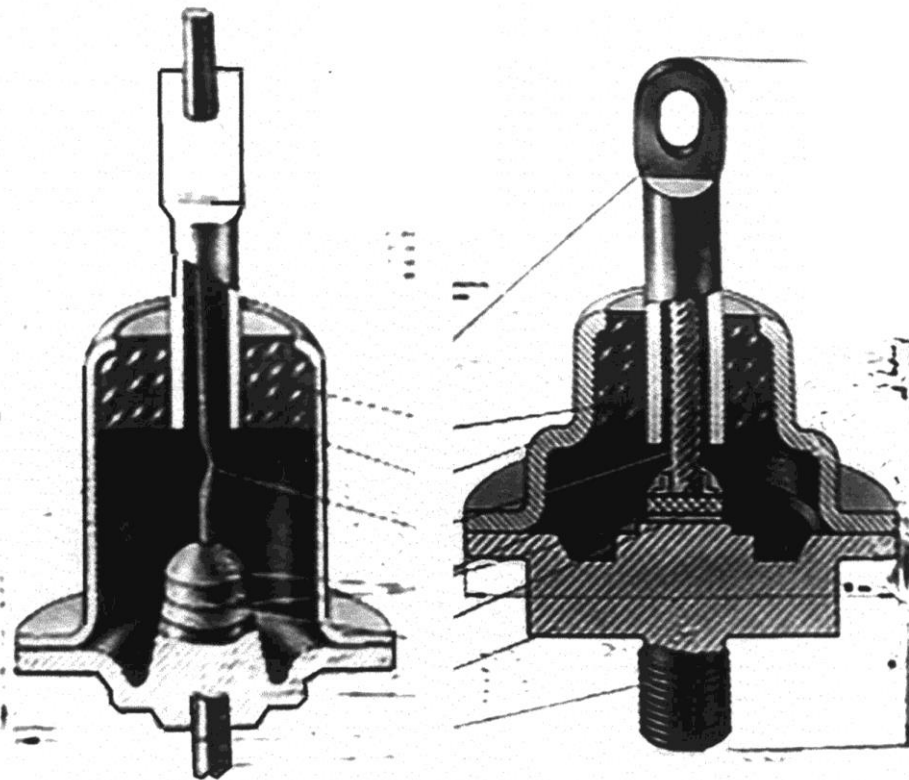


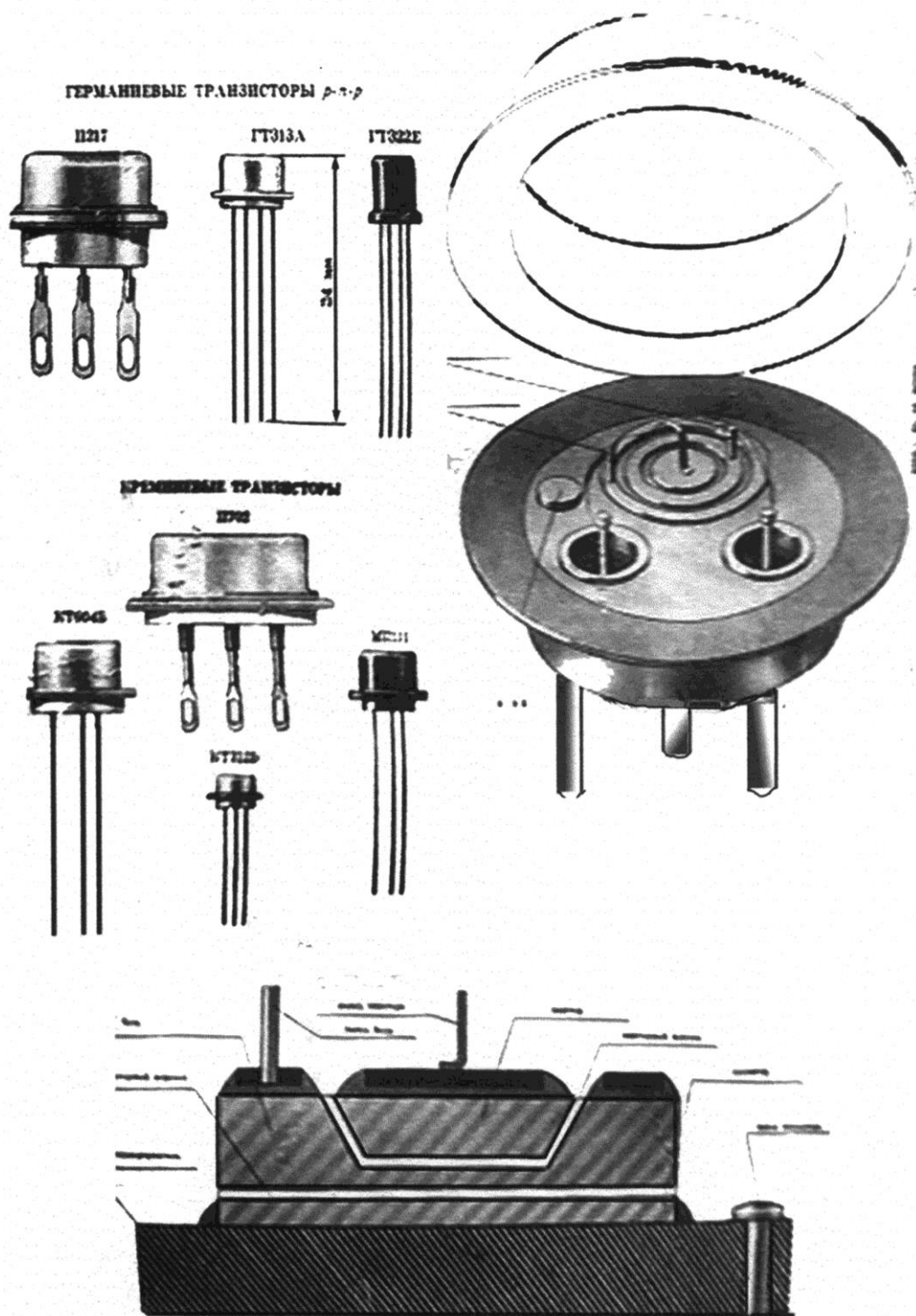


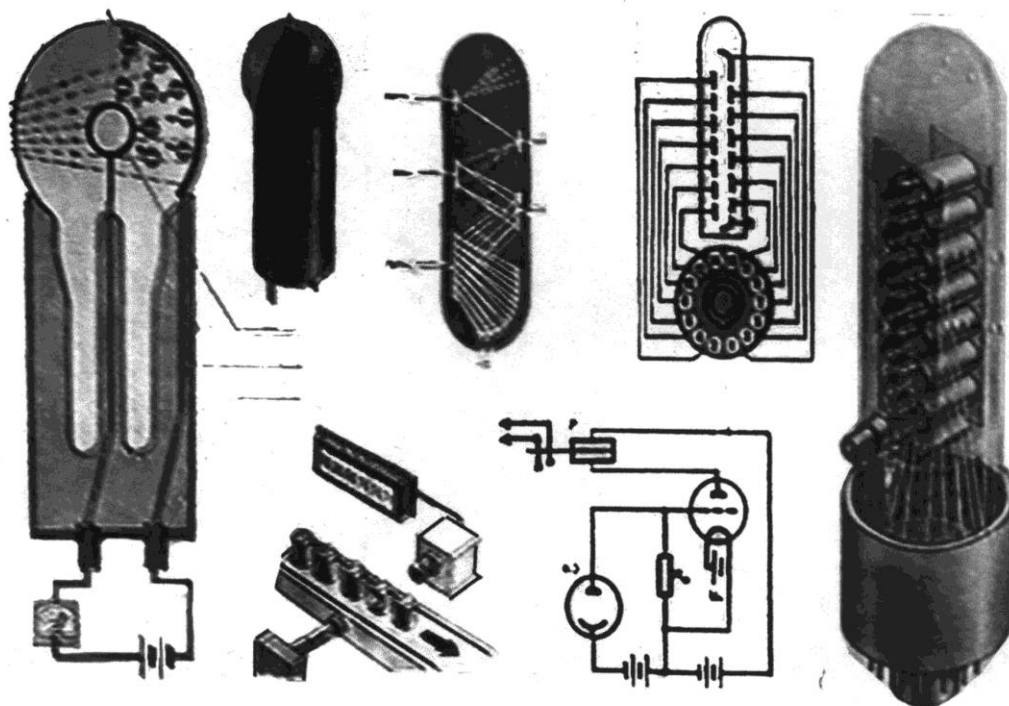
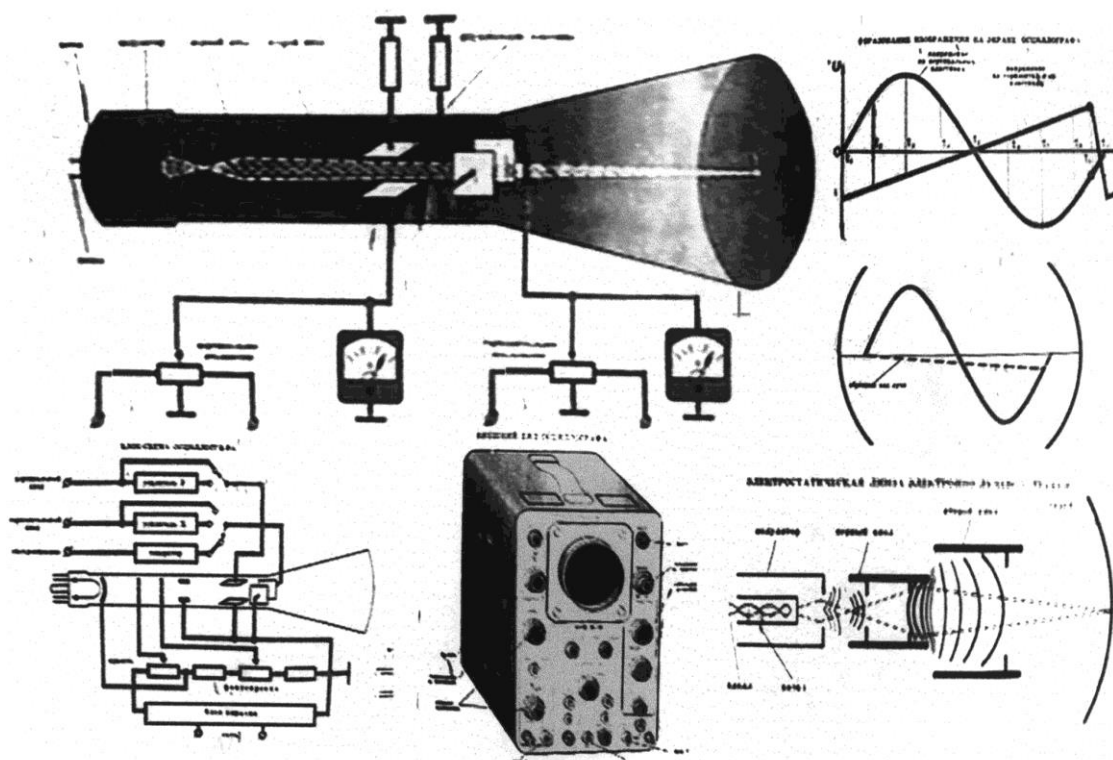


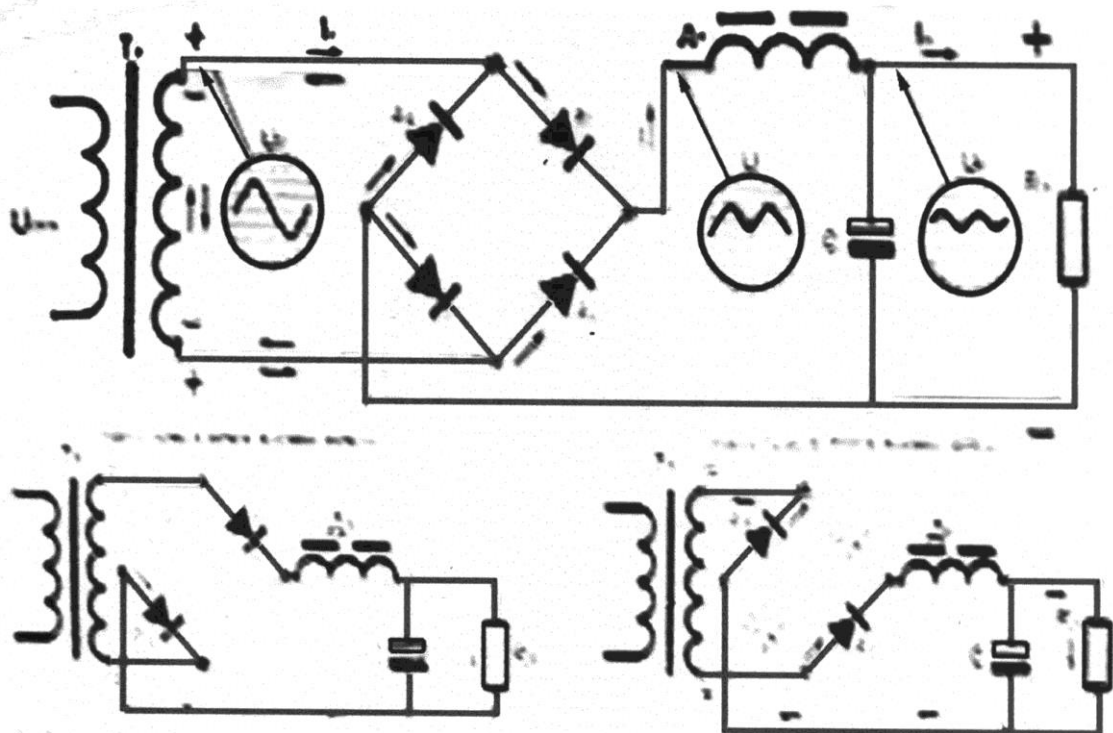
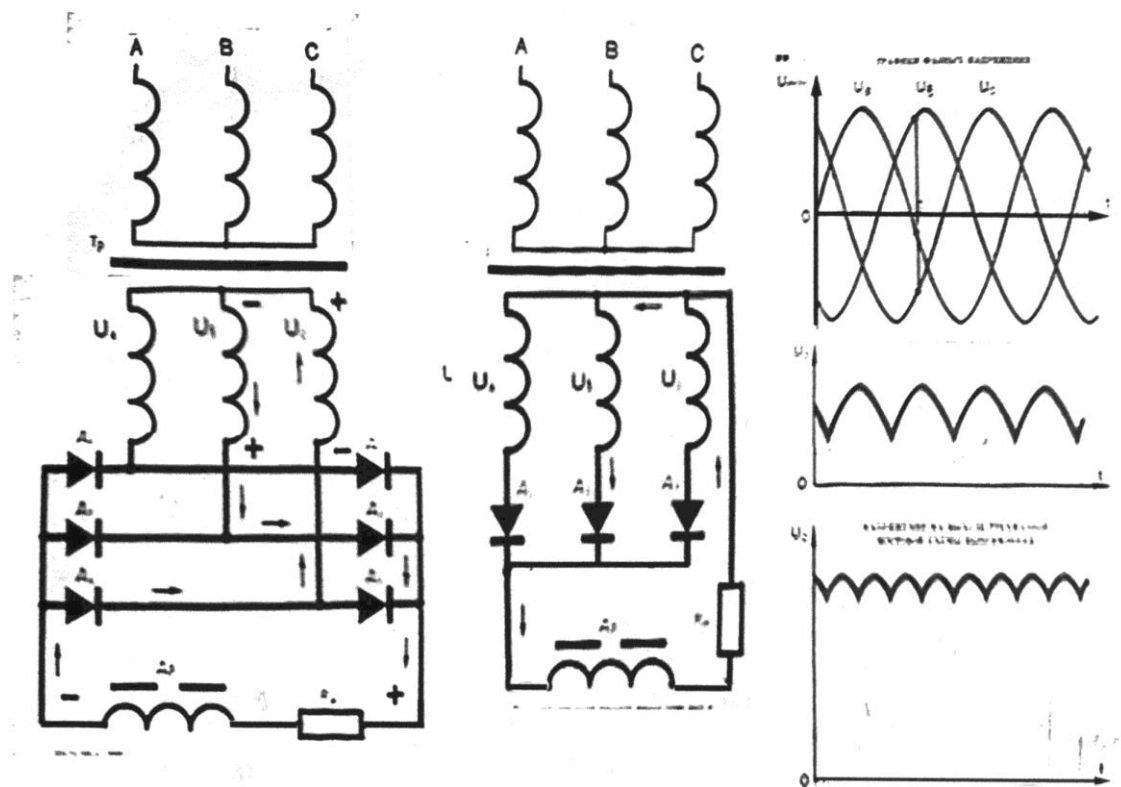












Навчальне видання

СПІВАК Віктор Михайлович
ЗОРІ Анатолій Анатолійович

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ (вступ до фаху)

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Редактор Л. Асмоловська
Художній редактор В.Багрій
Технічний коректор О.Стародубцева

Підписано до друку __.__.2015 р. Формат 60×84 ¹/₁₆. Папір PolSpeed.
Друк різнографний. Умовн. друк.арк. _____. Обл.-видав. арк. _____.
Тираж 3 00 прим. Замовлення № _____.

Надруковано: РВА, ДонНТУ, 83000, м.Донецьк, вул.Артема, 58, 9-й уч.корп.
Тел.(0622) 90-36-31